

KÁLKULOS

SOBRE LAS

# KAÑERÍAS DE AGUA

*ENSAYO DE UNIFIKAZION DE LAS FÓRMULAS USUALES I DE SIMPLIFIKAZION DE LOS KÁLKULOS BASADA EN LA NOZION DE ZIRKUITO IDRÁULIKO*

KONDUKZION DEL AGUA.—KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA

POR

A. E. SALAZAR

PROFESOR DE FÍSIKA INDUSTRIAL DE LA UNIBERSIDAD DE CHILE.

---

KON DIAGRAMAS I TABLAS ORIJINALES

---

Santiago de Chile:

HUME I K.A, AUMADA, 357

1898

# KANERÍAS DE AGUA.

## A. E. SALAZAR I K. NEWMAN.

NOTAS SOBRE

# EL ESPIRILO DEL KOLERA ASIÁTIKO

(BACILLUS COMMA DE KOCH)

*En 8.° 1888. Balparaiso.* [*Helfmann*].

**"Ce travail doit être consideré comme une bonne contribution à l'étude du Spirille de Koch."—*Ann. de Micr.* II. 192.**

---

EKSÁMEN KÍMIKO I BAKTERIOLÓJIKO

DE LAS

# AGUAS POTABLES

KON UN APÉNDIZE DEL PROFESOR R. BLANCHARD

SOBRE

**LOS ANIMALES PARÁSITOS INTRODUZIDOS POR EL AGUA EN EL ORGANISMO**

Obra ilustrada kon 127 grabados, 16 fotomikrografías i fotogramas de kultibos.

*En 8.°, de 523 pájs. Londres, 1890.* [*Burns & Oates*].

**"A most valuable contribution to sanitary science."—*Chem. News.* 62. 212.**

**"C'est une œuvre conciencieuse, bien au courant de la science et qui mériterait d'etre traduite en français."—*Révue Scientifique*, 1892.**

**"Le traité de MM. Salazar et Newman doit trouver une des meilleures places dans la bibliothèque des laboratoires de bacteriologie."—*Ann. de Micr.* 3, 348-400.**

**"No dudamos ke la obra de Salazar i Newman allará lektores donde kiera ke aya ombres de ziencia ke ablen kastellano i nos estrañaríamos si dentro de brebe plazo no apareze en otros idiomas."—Prof. Kyle, *Ans. Soc. Cient. Arjentina*, 31, 395.**

**"The scope of this work is more comprehensive than that of perhaps any similar in our own language. The pages under review, however, not only give an interesting account of the various methods employed by water-analysts, but subject their claims to a fair and impartial criticism... There is much need of a similar work to this in English."—*Nature.* 44. 74. 5.**

---

SUR LA CONSERVATION DES DISSOLUTIONS DE L'ACIDE SULFHYDRIQUE. *En 8.° Paris 1892.*

LA OKSIDAZION DEL $H^2S$. *En 8.° Santiago, 1893.*

EL IELO KE SE KONSUME EN BALPARAISO. *En 8.°, 1893.*

ESTUDIOS IJIÉNIKOS DEL AIRE. Actes de la Soc. Scien. du Ch. Tomo IV, 5.ª entrega.

---

**KOSTO KOMPARATIBO EN CHILE DEL GAS I DE LA ELEKTRIZIDAD**

KOMO SISTEMAS DE DISTRIBUZION DE ENERJÍA

Kon 9 diagramas orijinales.

*En 8.° Santiago de Chile. 1895.* [*Imprenta Moderna*].

# KÁLKULOS

SOBRE LAS

# KAÑERÍAS DE AGUA

*ENSAYO DE UNIFIKAZION DE LAS FÓRMULAS USUALES I DE SIMPLIFIKAZION DE LOS KÁLKULOS BASADA EN LA NOZION DE ZIRKUITO IDRÁULIKO*

KONDUKZION DEL AGUA.—KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA

POR

A. E. SALAZAR

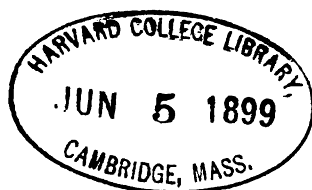
PROFESOR DE FÍSIKA INDUSTRIAL DE LA UNIBERSIDAD DE CHILE.

---

KON DIAGRAMAS I TABLAS ORIJINALES

---

Santiago de Chile:
HUME I K.A, AUMADA, 357
1898








IMP. MODERNA, MONEDA 2015, SANTIAGO

# PREFAZIO.

Puede admitirse, de un modo jeneral, ke kasi todo el konozimiento útil ke aktualmente eksiste sobre el mobimiento del agua en las kañerías se debe a los primeros imbestigadores en esta importante rrama de la idromekánika; podría agregarse, komo un omenaje a la sagazidad de los mismos, ke para llegar a semejante rresultado an tenido forzosamente ke limitarse en sus imbestigaziones a asoziar el máksimo de inferenzia kon el mínimo de esperienzia. Si fuera nezesario demostrarlo, bastaría zitar a de Prony, kuya fórmula — a pesar de lo insignifikante de su base esperimental i de no tomar en kuenta la influenzia de la rrugosidad — bale práktikamente kasi lo mismo, o no es mas defiziente ke kualkiera de las muchas otras konozidas fórmulas aplikables a igual propósito.

El presente libro, ozioso pareze dezirlo despues de lo ke prezede, no tiene por objeto esponer una nueba fórmula propiamente dicha, o nuebos koefizientes, puesto ke en el estado aktual de los konozimientos idráulikos el asunto no admite seguramente innobazion de mayor utilidad; tampoko es una mera kompilazion de fórmulas i datos destinada a azer mas fázilmente azekible la materia ke indika el título elejido: en rrea-

lidad, partizipa de este último karákter, pero su fin principal es satisfazer la misma nezesidad teniendo en bista las ideas ke se desembuelben espezialmente en los KAPS. IV i V.

Primeramente, por las rrazones aduzidas en uno de ellos, rresulta berdadera kombenienzia de poder rreunir ordenadamente, dentro de una fórmula múltiple, los rresultados dispersos e irregularmente diskrepantes ke se obtienen aplikando a un mismo kaso práktiko las dibersas fórmulas usuales. Las zifràs komparatibas de la TABLA I, espezialmente kalkulada a este propósito, aklaran mejor ke nada el konzepto emitido, por manera ke se aze innezesario agregar akí kualkiera otra esplikazion sobre el partikular.

La idea primordial del libro no es, sin embargo, la antedicha, sino la ke se diskute en el KAP. V. Brebemente espuesta konsiste en rreduzir sistemátikamente kualkier fórmula sobre el mobimiento del agua en las kañerías a tres términos jenerales, asimilándola *ipso facto* a la fórmula de Ohm sobre el estado de korriente kontinua en un konduktor eléktriko: $Q^n = H/R$ para el kaso idráuliko mas jeneral, por no dezir el úniko en la práktika, es dezir kuando la belozidad del agua eszede del límite llamado krítiko; $C = E/R$ para el kaso de la korriente eléktrika. Las konsekuenzias práktikas ke se deriban de esta asimilazion, en el sentido de azer en jeneral mas senzillos los kálkulos sobre kondukzion del agua o sobre la produkzion i trasmision de potenzia por medio de las kañerías, pueden apreziarse mejor eksaminando los KAPS. VI, VII i VIII, ke son los tres últimos de la obra. En los mismos se aze rreferenzia al empleo de las otras dos tablas orijinales, II i III, en

konekzion kon la fórmula jeneral prekonizada. Las tablas numérikas ke sigen se an agregado komo útil komplemento, para fazilitar la soluzion de los dibersos problemas o kuestiones ke pueden presentarse en la práktika.

Rresta solo azer presente ke la rrebision del manuskrito i la korrekzion de pruebas an debido azerse esklusiba i personalmente por el autor; es posible, por lo tanto, ke aparte de algunos errores tipográfikos ke se señalan en su debido lugar ayan pasado inadbertidos errores de otro jénero i de mayor entidad. De ningun modo podrían ellos, sin embargo, afektar el balor, kualkiera ke este sea, de las konklusiones de karákter puramente jeneral ke se desprenden de las ideas anteriormente insinuadas.

SANTIAGO DE CHILE, *oktubre*, 1898.



# KONTENIDO.



III.—KAÑERÍAS UNIDAS EN SÉRIE.



KAPÍTULO VII. **Kálkulos sobre la potenzia.—**

I.—DIBERSAS FASES DE LA KUESTION.



II.—NATURALEZA DEL PROBLEMA.



III.—BASE TEÓRIKA DE LOS KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA.



IV.—FÓRMULAS JENERALES SOBRE EL TRABAJO I LA POTENZIA.

V.—DETERMINAZION DE LA POTENZIA MÁKSIMA O DEL RRÉJIMEN DE EKONOMÍA DE LOS KAÑOS.



VI.—ALGUNAS KONSEKUENZIAS PRÁKTIKAS KE SE DERIBAN DE LOS KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA.



VII—KASOS ESPEZIALES.



KAPÍTULO VIII.—**Problemas rrelatibos a la potenzia.—**



APÉNDIZE.—**Motores idráulikos usados kon las kañerías.—**

# FIGURAS.



# TABLAS NUMÉRIKAS.

# KAÑERÍAS DE AGUA

·dad i en
limiento de
étikos, bajo
zierta presion, konstituye al parezer una de las aplikaziones idráulikas mas antiguamente konozidas. Se komprende, en efekto, ke en todo tiempo a debido imponerse la nezesidad de apelar a un método komo el indikado, por kuanto aun en la práktika mas rrudimentaria okurren a menudo difikultades de kondukzion o de distribuzion del agua, insalbables por el senzillo espediente de kanalizazion al aire libre.

Pokos rrestos de la antiguedad rromana mas interesantes para el injeniero idráuliko ke los kaños de plomo usados en akella époka, para la distribuzion de agua potable en las ziudades, para el múltiple serbizio de las termas, i aun para atrabesar ondonadas de terreno, por medio de sifones, tal komo se praktika en nuestros dias.

No son dignos de menor interés algunos detalles de las instalaziones doméstikas deskubiertas en Pompeya, komo ser pekeñas fuentes, tubos de konekzion, grifos de bronze, etz.; todo lo kual se konserba kasi intakto i en el propio sitio, a trabes de los deziocho siglos traskurridos desde ke la ziudad desaparezió bajo las zenizas del Besubio.

En presenzia de esta i muchas otras rreferenzias de karákter istóriko ke pudieran zitarse, diríase ke los antiguos poseían un konozimiento bastante kabal de los prinzipios ke rregulan el mobimiento del agua en los konduktos zerrados. Nada mas lejos de esta suposizion, sin embargo: de todos los dokumentos pertinentes al kaso ke se konserban de akellos tiempos, despréndese klaramente ke los konozimientos idráulikos de nuestros antepasados no deben aber sobresalido de los ke puede diktar el mas burdo empirismo. *

Esta ignoranzia no debe sorprendernos. Obsérbese, al efekto, ke en la aktualidad misma, tantos años despues ke Torricelli, Maggiotti, Daniel Bernouilli, Newton, etz., elebaron la idromekánika a la dignidad de una zienzia, kon todo, la parte ke de ella nos okupa kontinúa siendo de las mas inziertas, de las ke menos pueden satisfazer al espíritu komo aplikazion.

En rrealidad, komparatibamente se a abanzado mucho mas desde el punto de bista puramente mekániko,

* Tokante a algunos puntos espeziales, la ignoranzia no era, sin duda, tan kompleta. No era deskonozida, por ejemplo, de los ziudadanos de Rroma ke tenían konzesiones de agua de los konduktos públikos, la propiedad de las bokillas diberjentes, de aumentar el gasto del orifizio de diámetro determinado ke fijaba la konzesion. Eksistía, segun pareze, una lei rromana para ebitar abusos a ese rrespekto.

en espezial durante los últimos años, grazias a los notables progresos de la metalurjia. Las kañerías de plomo o de madera usadas asta fines del siglo último, an zedido su lugar a las de fierro fundido o de palastro asfaltado; i, si de la simple kondukzion del agua, bajo presiones rrelatibamente insignifikantes, pasamos a los modernos sistemas de trasmision o de distribuzion de fuerza idráulika, keda aun mas en rreliebe la gran diferenzia de kondiziones.

Eksiste alguna distanzia, a no dudarlo, entre las débiles kuanto pesadas kañerías de otros tiempos, i la komparatiba lijereza i marabillosa rresistenzia a la rruptura de los kaños de azero Mannesmann, los de láminas de azero en espiral, etz., etz. Bien es berdad ke estas kualidades tienen ke ber de preferenzia kon el punto de ke tratamos en segida.

**2. La fuerza idráulika.**—Antes de establezer las rrelaziones ke ligan esta materia kon el empleo de las kañerías, es kombeniente azer algunas obserbaziones sobre la importanzia ekonómika ke, komo fuentes de enerjía, rrepresentan las kaídas de agua.

En un país industrial, kuando estas kaídas son abundantes, rregulares en su kaudal, i se enkuentran en parajes de fázil akzeso, konstituyen una base de rrikeza efektiba, komparable por lo menos a una amplia probision de buen kombustible. Pareze ke en parte alguna se allan mas felizmente kombinadas estas kondiziones ke en los Estados Unidos de Norte Amérika i en el Kanadá.

Lo zierto es ke no basta tener portentosas kaídas de agua, komo las tiene el Afrika, komo las tiene abundantes i magnífikamente distribuidas Chile mismo, para

inferir ke esta zirkunstanzia rrepresente por sí sola un faktor ekonómiko digno de tomarse en kuenta. Es indispensable, ademas, una kondizion industrial de los zentros de poblazion, si no abanzada, por lo menos kon signos de manifiesto desarrollo.

Por el momento, los konsiderables rrekursos idráulikos de este país no pueden estimarse sino komo una forma de 'rrikeza potenzial,' ke indudablemente llegará a ser de grande importanzia en lo futuro. Será akaso por ese mismo motibo ke asta el presente no se a juzgado oportuno azer, ni ofizial ni pribadamente, estudio estadístiko alguno para apreziar su kuantía.

Beamos modo de suplir en parte esta defizienzia, echando una ojeada a la estadístika de la pekeña Suiza, país ke, en estension e importanzia al rrespekto señalado, no ekibale probablemente sino a un pedazo de la zona zentral de Chile.

Kalkúlase ke en Suiza la fuerza de agua aprobechable alkanza a 582,000 kaballos. Estimando el balor anual de kada kaballo de fuerza en 30 pesos oro, korrespondería esto a un total al año de mas de 17 millones de la misma moneda. Suponiendo ke toda esa fuerza disponible entrara a rreemplazar una fuerza ekibalente de bapor, konsegiríase por tal medio un aorro anual de uno i kuarto millon de toneladas de karbon de piedra. *

* Unwin, *On the development and transmission of power from central stations.* Londres, 1894. (Longmans.)

Esta misma autoridad kalkuló la potenzia de la katarata del Niágara en 7 millones de kaballos.

En Irlanda, segun Sir Robert Kane, la fuerza idráulika aprobechable alkanza a uno i kuarto millon de kaballos.

En Francia, segun Chrétien, eksiste diseminada una fuerza idráulika utilizable, ke puede kalkularse en 17 millones de kaballos.

Naturalmente, ninguno de estos kálkulos sobre el balor de la fuerza idráulika es aplikable por aora a Chile, si se toma en kuenta la eskasa o, mas bien dicho, nula importanzia manufakturera e industrial de este país. No debe olbidarse, a pesar de todo, ke esta desfaborable situazion tendrá forzosamente ke ir modifikándose kon el tiempo. Por de pronto, komo elemento de gran porbenir, ke en otras partes a dado ya un nuebo ímpetu al aprobechamiento de la fuerza motriz del agua, kuéntase la kompleta soluzion del problema de la trasmision eléktrika de la enerjía. Las satisfaktorias kondiziones en ke, rrespekto a ekonomía de instalazion, fazilidad de manejo i rrendimiento komerzial, se a rrealizado este rreziente progreso eléktriko, superan kon mucho las espektatibas de los primitibos imbestigadores en esta importantísima rrama de la elektroteknia. Agrégese a la anterior aplikazion, la todabía mas nueba de la korriente eléktrika a la metalurjia en grande eskala, a la kímika industrial, etz., i se tendrá una lijera idea del estenso kampo ke se a abierto al empleo de la fuerza idráulika.

**3. Dos métodos jenerales de aprobechar las kaídas de agua.**—El aprobechamiento de las kaídas de agua puede efektuarse, en jeneral, de las dos sigientes maneras: 1) llebando el agua por kanales zerrados o abiertos, asta llegar a zierto punto en ke se obtiene un salto de altura determinada; o bien, 2) konduziéndola bajo presion i kon zierta belozidad, por kañerías ermétikas, a fin de utilizar esa presion i esa belozidad en el estremo de mas bajo nibel, ora direktamente por medio de turbinas de rreakzion, ora en la for-

ma de impulso, rrepresentado por la enerjía kinótika de uno o mas chorros de agua.

El kálkulo de la potenzia útil de un salto de agua es kasi siempre operazion mui senzilla. La única difikultad ke puede presentarse en la práktika, kuando se persige gran esaktitud, konsiste en la determinazion, por algunos de los métodos konozidos, del kaudal de agua disponible. Multiplikando este kaudal, espresado en litros por segundo, por la altura de la kaída, espresada en metros, obtiénese, segun es sabido, la potenzia bruta en kilográmetros por segundo. La zentésima parte de este produkto rrepresentará el número de kaballos efektibos, en el eje de la turbina o motor idráuliko, admitiendo ke el rrendimiento orgániko de este no sea sino de 75%. Tal rresultado debe tomarse komo mínimo, para el kaso de una buena turbina moderna debidamente instalada, kuya efizienzia en estas kondiziones no puede bajar de 80 a 85%.

Si el salto no eksiste, i ai ke formarlo en un lugar dado, konduziendo al efecto el agua por un kanal *ad hoc*, es materia de kálkulos espeziales determinar la sekzion i el desnibel mas kombenientes—tanto desde el punto de bista tékniko komo del ekonómiko—ke permitan obtener la kantidad de agua i la altura nezesarias, korrespondientes a la potenzia rrekerida.

En este libro no se konsidera bajo ninguno de estos dos aspektos el aprobechamiento de las kaídas de agua: en él se tratará únikamente de akellos kasos en ke interbenga una kondukzion de agua por medio de kañerías.

Para prezisar mejor el punto, es nezesario agregar ke, en la práktika, por kañerías debe entenderse konduk-

tos metálikos, o aun de madera, zerrados, de sekzion zirkular i de una lonjitud (a estar a las obserbaziones de Caligny), ke no baje de 36 bezes el balor del diámetro. En tubos o konduktos de menor lonjitud rrelatiba no alkanzaría a establezerse, segun pareze, el rréjimen de mobimiento o de distribuzion de la belozidad a ke son aplikables las fórmulas empírikas de ke tendremos ke okuparnos mas adelante.

**4. Distinzion ke debe establezerse rrespekto de las kañerías.**—Aun tan al komienzo de nuestro kamino es oportuno establezer una distinzion de ke bolberemos a okuparnos en otro kapítulo.

Aparte de la última obserbazion del artíkulo ke prezede, debe distingirse todabia entre kañerías ya kolokadas, kuya kapazidad para produzir un trabajo máksimo se nezesita konozer, i kañerías por kolokar, destinadas a análogo propósito.

En el primer kaso, la nezesidad de un kálkulo espezial, ke konstituye un problema de máksimo, se aze indispensable. Esto se diskute en el KAPÍTULO VII.

En el segundo kaso, kuando la zirkunstanzia por tomar menos en kuenta sea la del kosto de los kaños, toda la kuestion se rreduze a emplear kaños del mayor diámetro posible. De esta manera, si se dispone de un kaudal de agua, ke llamaremos $Q$, i de un desnibel total entre ambos estremos del kondukto, ke llamaremos $H$, la pérdida de karga por frikzion o rrozamiento puede llegar a azerse kasi nula, konsigiéndose práktikamente, por lo mismo, una potenzia utilizable $P_u = QH$, tal komo si las kondiziones fueran las mismas del salto o kaída libre konsiderado anteriormente.

Pueden, todabía, presentarse kondiziones intermedias

entre estos dos kasos: tambien, en zirkunstanzias komo esas, es menester apoyarse en alguna base fija para determinar las proporziones de una instalazion idráulika de potenzia, en kuanto se rrefiere al mas kombeniente diámetro de la kañería.

**5. Base de rreferenzia para los kálkulos: Lei de ekonomía de los kaños.**— En una imbestigazion de esta naturaleza, nos pareze el mejor sistema establezer komo base de rreferenzia la lei o kondizion de ekonomía rrespekto del kondukto. En konformidad kon esta idea, deberá determinarse en kada kaso el rréjimen de pérdida de karga i el korrelatibo de gasto, korrespondientes al rréjimen de máksima potenzia trasmisible o utilizable kon un diámetro determinado. Partiendo de esta base, será siempre fázil aberiguar asta ke punto es dable apartarse de ella, kon la mira de kolokarse en kondiziones ekonómikamente mas faborables, o ke se amolden mejor a eksijenzias de órden puramente mekániko,—komo ser una belozidad límite de la kual no sea permitido eszederse.

La rrazon primordial para establezer komo premisa ekonómika el kalibre o diámetro de los kaños, konsiste en ke, por lo jeneral, la kañería konstituye la parte mas kostosa de una instalazion. La konsiderazion del kosto de los kaños no tiene mayor signifikado al tratarse solamente de unos kuantos metros o zentenas de metros de kañería; pero ba adkiriendo importanzia en doble sentido, a medida ke el largo de la trasmision aumenta.

**6. Inkombenientes de las fórmulas usuales sobre las kañerías.**—Los kálkulos rrelatibos a la potenzia idráulika rreposan nezesaria-

mente en ziertas fórmulas, ke se an establezido mas o menos de un siglo a esta parte, azerka del prinzipio ke rrije el mobimiento del agua en la kañerías.

Al tokar este punto, es imposible deskonozer ke eksisten muchos motibos de konfuzion, no solo aparente sino mui rreal i berdadera, en el modo komo se nos presentan esas fórmulas en los tratados i karteras de konsulta; por rraro ke a primera bista parezka la aseberazion, el echo es ke al rrespekto indikado eksiste la mas kompleta anarkía.

Para el espezialista, kon sufiziente esperienzia para giarse sin mayor tropiezo en medio de difikultades de ese jénero, el asunto es, si se kiere, de poka monta; su práktika le llebará naturalmente a eksaminar kon prolijidad todas las zirkunstanzias ke puedan ejerzer influenzia en un problema determinado, al tener ke aplikar las fórmulas ke a su juizio sean mas adaptables al kaso.

En kambio, el injeniero ke solo okasionalmente tenga ke azer un kálkulo de esa naturaleza, beráse en la disyuntiba, o de no saber a ke atenerse en presenzia de rresultados numérikos mui desiguales, obtenidos, sin embargo, kon fórmulas ke se diría aplikables a kondiziones idéntikas, o bien de esponerse a inkurrir en errores ke pueden ser de mui desagradables konsekuenzias.*

Suzede, por desgrazia, ke kualkier tentatiba, aunke tenga por base los rresultados de una seria imbestigazion esperimental, bien poko puede azer en el sentido de obbiar mediante nuebas fórmulas o nuebos koefizientes, la esenzia misma de la difikultad. El problema

* Béase, por ejemplo, (§ 16) el kaso de la East Jersey Water Company.

jeneral del mobimiento de los líkidos no pareze asta akí suszeptible de una soluzion idrodinámika kompleta, eliminada aun la influenzia konsiderable i tan kompleja de la biskosidad.

Kreemos, sin embargo, ke algo útil puede azerse en el sentido: 1) de uniformar la inkombeniente e innezesaria bariedad de notazion de las fórmulas en aktual uso; 2) de rreducir el número de términos, kualeskiera sean los balores de los koefizientes o esponentes de la fórmula konsiderada; i, 3) mui prinzipalmente, de establezer sistemátikamente las rrelaziones ke puedan ligar a esos términos, sobre la nozion de 'zirkuito' o potenzial zíkliko, de un modo enteramente análogo a lo ke se efektúa en el kaso del zirkuito eléktriko, o en el de flujo magnétiko.

Antes de desarrollar estas ideas es nezesario eksaminar, sikiera sea sumariamente, las noziones fundamentales de ke se deriba la ekuazion jeneral del mobimiento de agua en los konduktos zerrados. Este eksámen, junto kon algunas obserbaziones sobre dicha ekuazion, será materia del próksimo kapítulo. En el subsigiente, por otra parte, se ará una esposizion komparada de las dibersas fórmulas—o bariedades de una misma fórmula—kon ke el injeniero se enkuentra en los mas konozidos libros de konsulta. De esta suerte será posible aprèziar en konjunto, tanto la dibersidad de rresultados ke kon esas fórmulas se obtienen, al ser aplikadas a un solo i mismo kaso, komo las kausas de konfusion a ke antes se izo rreferenzia.

## KAPÍTULO II.

### *EKUAZION JENERAL DEL MOBIMIENTO DEL AGUA EN LOS TUBOS DE SEKZION KONSTANTE.*

**7. Prinzipios fundamentales.**—Torricelli, el fundador de la teoría de la idrodinámika, deskubrió la lei ke konekta la belozidad de eflujo $V$, de un líkido ke se derrama por un orifizio al pié de un baso, kon la altura $H$ eksistente entre el zentro de presion del orifizio i la superfizie libre del líkido.

Mantenido el nibel del líkido a una altura konstante, si no ubiera absolutamente rresistenzia físika al eflujo, la belozidad de este sería igual a la belozidad *final* de un kuerpo ke kayera libremente desde la indikada altura $H$:

$$V = \sqrt{2gH}$$

i, por lo tanto,

$$H = \frac{V^2}{2g}$$

Segun Mach, * los primitibos imbestigadores sobre la materia deduzían sus proposiziones en la forma inkompleta de las proporziones. Varignon, entre otros,

* *Die Mechanik in ihrer Entwickelung.* Bersion inglesa: *The Science of Mechanics. A critical and historical exposition of its principles.* Chikago, 1893. (The Open Court Publishing Co.)

intentó deduzir el prinzipio ke antezede de la rrelazion entre la fuerza i el *momento* jenerado por la fuerza, llegando así la ekuazion $V^2 = gH$, esto es $V = \sqrt{gH}$, en bez de la fórmula korrekta de mas arriba. Daniel Bernouilli llegó al berdadero rresultado, tratando el problema por el prinzipio de la *vis viva.*

Teórikamente, dirijiendo el chorro en direkzion bertikal azia arriba, debería alkanzar kon eksaktitud asta la altura $H$; pero se a komprobado ke, debido a dibersas kausas rretardatrizes (ke pueden ser la rresistenzia del aire, la frikzion kontra los bordes del orifizio, etz.) la belozidad $V_1$ efektiba es menor ke $V$, la belozidad indikada por la fórmula. En rrealidad, para un simple orifizio bien konformado, el balor medio de $V_1$ es poko mas del 97% de $\sqrt{2gH}$.

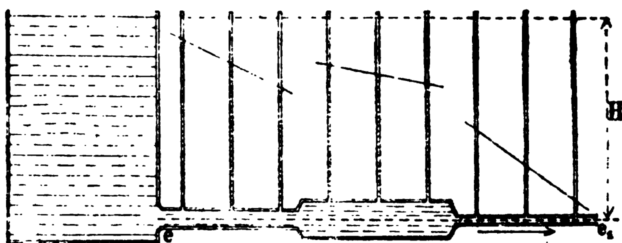



Fig. 1.

Si en lugar de ke el líkido eskape al aire por un orifizio en pared delgada, se efektúa el derrame a trabes de un tubo o kondukto de sekzion uniforme o desigual, las kondiziones korresponden entonzes al la de un sistema idráuliko de kondukzion de agua por kañería, bajo la influenzia de una karga total $H$, mantenida konstante.

La Fig. 1 rrepresenta diagramátikamente esas kon-

diziones para el kaso en ke $H$ sea konstituida esklusibamente por fuerza grabitazional.

En un sistema semejante se berifikan los sigientes echos, prebistos por la teoría i komprobados por la esperienzia:

1) Al abrir enteramente a la atmósfera la estremidad $e_1$, se produze el derrame máksimo, i la presion o karga total en el mismo punto kae de $H$ a zero.

2) La belozidad efektiba de eflujo, $V_1$, rresultante de lo anterior, korresponde a zierta frakzion de $H$ ke podemos rrepresentar, de akuerdo kon el teorema de Torricelli, por la ekuazion

$$h_v = \frac{V_1^2}{2g}.$$

3) La diferenzia entre $H$ i $h_v$ korresponde a la fuerza absorbida por las dibersas kausas rretardatrizes ke pueden eksistir entre $e$ i $e_1$, diferenzia frakzionable en esta forma: $h_e$, pérdida por kontrakzion de la bena líkida a la entrada; $h_f$, pérdida por rresistenzia de frikzion orijinada por la mayor o menor aspereza de la superfizie en kontakto kon el agua en mobimiento; $h_k$, pérdida debida a kodos, kambios bruskos de sekzion, etz.

4) La pérdida de karga kreze mas rrápidamente en las partes de menor sekzion del kondukto, independientemente de toda influenzia del rrozamiento, por kausa de la mayor belozidad del agua en las sekziones rreduzidas.

Aora, dado el kaso ke la estremidad $e_1$ no se alle totalmente abierta, entonzes el derrame o gasto no es el mayor posible sino parzial; $H$ no kae a zero sino a una frakzion

$$h_t = H - (h_v + h_e + h_f + h_k),$$

ke rrepresenta la presion *idrostátika* del agua, así komo $h_v$ rrepresenta la *idrodinámika.*

En definitiba se tiene—

$$H \text{ (konstante)} = h_i + h_v + h_e + h_f + h_r.$$

Las dos primeras de estas frakziones de $H$ son utilizables en la produkzion de trabajo esterno; las últimas korresponden a la fuerza absorbida por la rresistencia total de la kañería; i, si esta es larga kon rrelazion a su diámetro, dicha rresistenzia biene a ser práktikamente solo la de rrozamiento.

Usando el metro komo unidad en la fórmula de Torricelli, se tiene para el kaso de la presion idrodinámika

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \text{ 'metros.'}$$

Nótese ke la espresion entre komillas no mide en rrealidad una lonjitud. Segun las ideas ke se esplayan mas adelante, $H$, en jeneral, debe interpretarse komo una diferenzia de potenzial. En unidades del sistema c. g. s. kada 'metro' ekibale a $g \times 10^4$ dinas.

Segun esto, tenemos las sigientes rrelaziones, konsiderando ke la densidad del agua sea siempre 1:

$$\frac{V^2}{2g} \text{ 'metros'} = 5000\ V^2 \text{ dinas por zm}^2.$$

$$\text{Id.} \quad \text{id.} \quad = \frac{1}{10}\ \frac{V}{2g} \text{ kg. por zm}^2.$$

$$\text{Id.} \quad \text{id.} \quad = \frac{V^2}{2g} \text{ tons. mét. por zm}^2.$$

Etz. Etz.

Estas son las ekibalenzias idrostátikas de la presion

idrodinámika orijinada por la belozidad. El konozimiento de ellas puede ser útil para la mejor interpretazion de la fórmula kompleta aplikable al mobimiento del agua en las kañerías, i en jeneral, para muchos kálkulos en ke pueda entrar el indikado término $\frac{V^2}{2g}$.

**8. Dedukzion de la ekuazion jeneral del derrame.**—Dada la insignifikanzia ke, por lo komun, korresponde a las dibersas kausas sekundarias de pérdida de karga, en lo ke sige no se toma en kuenta sino la influenzia del rrozamiento.

Kuando un líkido fluye en kontakto kon una superfizie sólida, o una superfizie sólida se desliza en kontakto kon una masa líkida, se produze zierta rresistenzia al mobimiento, debida a la biskosidad del líkido i a la aspereza de la superfizie.

De akuerdo kon los rresultados de los esperimentos de Coulomb i de Darcy en Franzia, i de los mas modernos de Beaufoy, Froude, Unwin, Reynolds i Perry, en Inglaterra, pueden sentarse, azerka de este importante fenómeno, las sigientes konklusiones:—

1) La rresistenzia de frikzion es proporzional al área de la superfizie mojada.

2) La rresistenzia de frikzion es proporzional a zierta funzion de la belozidad rrelatiba, de la forma

$$f(V) = \alpha V,$$

kuando la belozidad no eszede de $0^m.10$ a $0^m.15$ por segundo; i

$$f(V) = \beta V^n$$

(en ke el índize $n$ tiene balores komprendidos entre 1.7

i algo mas de 2, dentro de los límites de los kasos estudiados) kuando la belozidad sube de esos balores.

3) La rresistencia de frikzion entre un fluido i un sólido, es independiente de la presion de las superfizies en kontakto.

Segun puede berse, la funzion $f(V)$ es una funzion diskontinua, kon un punto krítiko o kambio brusko, bezino a las belozidades límites señaladas.

$\alpha$ i $\beta$ son koefizientes ke no pueden determinarse sino esperimentalmente. Para un mismo líkido, sus rrespektibos balores dependerán del karákter de la superfizie bañada por líkido.

Rresumemos estas proposiziones o leyes de la frikzion fluida, dado el kaso de una plancha o lámina mui delgada i de kantos aguzados, ke se mueba de filo, kon una belozidad superior a la krítika, dentro de una masa de agua en rreposo:—

Sea $F$ el esfuerzo kapaz de ekilibrar la rresistenzia de frikzion ke se opone al mobimiento.

Sea $S$ el área, en zentímetros kuadrados, de la superfizie mojada.

Sea $V$ la belozidad, en zentímetros por segundo.

Sea $f$ el koefiziente de frikzion.

Entonzes, de akuerdo kon esas leyes, el rresultado espresado en dinas, será

$$F = f S V^n,$$

i en gramos,

$$F = \frac{f}{g} S V^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Si admitimos, por el momento, ke las mismas leyes enunziadas rrijan tambien, sin modifikazion, para el mobimiento del agua en un tubo o kaño de diámetro

interno $D$, largo $L$, i por konsigiente de área total mojada igual a $\pi DL$, se tendrá, al sustituir en (1) $S$ por este último balor:—

$$F = \frac{f}{g} \pi DL\, V^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Por otra parte, esta fuerza $F$ kapaz de kontrarrestar la rresistenzia total del frotamiento ekibale indudablemente a la presion de una kolumna de agua ke tiene por base la sekzion zirkular del kondukto, i por altura la diferenzia $H$ de nibel (Fig. 2), entre las estremidades $e$ $e_1$ de dicho kondukto.

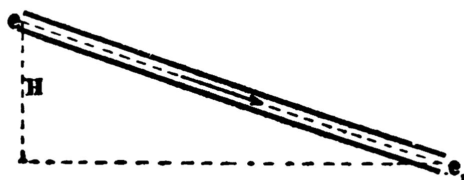



FIG. 2.

En tal kaso,

$$F = \frac{\pi D^2}{4} H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Igualando (2) i (3), pasando $L$ al otro miembro, i rrepresentando $\frac{H}{L}$ por $J$, esto es la presion o karga por unidad de lonjitud, se tiene finalmente

$$\frac{DJ}{4} = \frac{f}{g} V^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4),$$

espresion en ke se fundan las fórmulas ke se an propuesto por dibersas autoridades, desde Chéezy (1775) asta nuestros dias, para kalkular el mobimiento del agua en las kañerías.

**9. Obserbaziones sobre la dedukzion anterior.**—Los konozimientos mas rrezientes sobre la materia dan oríjen a las sigientes obserbaziones, en presenzia de la fórmula (4) ke se akaba de deduzir:

1) Ningun balor aislado de $f$ o $\frac{f}{g}$, o ninguna de las kombinaziones ke se an ideado para rrepresentar ese koefiziente son aplikables, sin modifikazion, a todos los kasos ke pueden ofrezerse dentro de los límites de la práktika.

2) El índize de $V$, $n = 2$, usado en las fórmulas, eszepto en algunas rrelatibamente rrezientes, no korresponde sino a zierta i determinada kondizion de rrugosidad de los kaños. Mantener el índize 2 para todos los kazos, por rrazones de senzillez, implika la nezesidad de emplear en la fórmula rrespektiba, koefizientes bariables de frikzion.

3) El índize de $D$ debe ser, segun pareze, la unidad komo mínimo; pero, fuera del kaso estremo a ke este balor pueda korresponder, dicho índize es siempre mayor ke la unidad, i abría ke determinarlo, segun Unwin, independientemente del índize $n$.

En birtud de estas obserbaziones, si en la ekuazion jeneral del derrame (4), se rrepresenta $\frac{4f}{g}$ por $K$, i por $m$ el índize korrespondiente al diámetro, se tiene, pasando $D^m$ al segundo miembro:

$$J = K\frac{V^n}{D^m} \quad \dots\dots\dots\dots\dots \quad (5).$$

Esta espresion de la pérdida frikzional de karga, por unidad de lonjitud, korresponde a la fórmula jeneral,

ke podríamos llamar moderna, del mobimiento del agua en largos tubos o kañerías.

Es de adbertir, por otra parte, preszindiendo de toda konsiderazion sobre los índizes o koefizientes adoptados, ke kualkiera de las fórmulas jenerales (4) i (5) es inkompleta, en el sentido de no tomarse en kuenta en ellas sino la rresistenzia de frotamiento. Se supone, en efekto, ke $H$ es totalmente absorbido por esa rresistenzia; en otros términos, ke $H = h_f$ para el kaso de derrame o gasto máksimo. Práktikamente, sin embargo, esto no es admisible sino kuando se trata de kañerías mui largas rrespekto del diámetro, en las kuales toda kausa sekundaria de rresistenzia o de absorzion de enerjía puede konsiderarse nula al lado de la rresistenzia frikzional.

La premisa es errónea tratándose de las kañerías 'kortas,' en kuyo kaso la frakzion de $H$ absorbida por la belozidad,

$$h_e = \frac{V_1^2}{2g},$$

i, por ejemplo, la frakzion absorbida por kontrakzion de la bena líkida a la entrada,

$$h_e = \xi \frac{V^2}{2g},$$

pueden tener en konjunto, i aun aisladamente, balor apreziable en presenzia de la pérdida por frikzion,

$$h_f = LK \frac{V^n}{D^m}.$$

Ai, pues, nezesidad de prekautelarse kontra la inkorrekta aplikazion de las fórmulas inkompletas, siempre ke okurra la zirkunstanzia antedicha.

Por lo jeneral, en los libros o tratados espeziales en ke se konsignan las dibersas fórmulas ke bamos a pasar en rrebista en el próksimo kapítulo, no se aze adbertenzia alguna al rrespekto anterior. En algunos de ellos la fórmula prekonizada embuelbe una tentatiba (dentro de los límites rrestrinjidos ke pueden korresponder a una fórmula aislada) de adaptazion a kualkier lonjitud de kañería: tampoko azen menzion alguna sobre el partikular; pero ya en este kaso la omision no puede implikar el peligro de una interpretazion errónea.

# KAPÍTULO III.

## *KOMPARAZION DE LAS FÓRMULAS PRÁKTIKAS MAS EN USO.*

**10. Observaziones jenerales.**—Al final del KAPÍTULO I se indikó la naturaleza de las konsideraziones sobre ke debe basarse este eksámen komparatibo. Debe agregarse ke, kon el objeto de poder juzgar mejor del mérito o del demérito de una fórmula, kuando se intente aplikarla a kaso determinado, es menester konfrontar sus rresultados kon los ke arrojen otras fórmulas ke se estimen aplikables en las mismas zirkunstanzias. Abrá, a bezes, konkordanzia perfekta, no obstante aberse empleado en los kálkulos rrespektibos espresiones kompletamente dibersas, no solo komo notazion, sino komo balores de koefizientes i esponentes; en otras, rresultarán diskordanzias inesperadas, kon el empleo de fórmulas ke a primera bista se konsiderarían kasi iguales o ekibalentes.

A fin de allar el oríjen de estas anomalías i de poder orientarse en el mar de konjeturas a ke en okasiones pueden ellas dar lugar, es de mucha utilidad para el injeniero formar una apreziazion de konjunto de los rresultados numérikos ke arrojen las distintas fórmulas, aplikadas en idéntikas kondiziones. En bista de ke

una rrepresentazion gráfika, por medio de muchas kurbas sobrepuestas, no llenaría satisfaktoriamente ese propósito, emos juzgado mas kombeniente kalkular la TABLA I. En esta se konsignan, al mismo tiempo, los rresultados komparatibos de la gama de unifikazion de fórmulas diskutida en el próksimo kapítulo.

En la enumerazion ke sige, akompañada solamente de algunos komentarios u obserbaziones pertinentes a kada kaso, no se an inkluido sino akellas fórmulas ke se enkuentran en los libros o karteras de mas frekuente konsulta entre nosotros; de otra manera la lista rresultaría interminable. Por lo demas, nos pareze sufiziente el grupo elejido, para justifikar lo ke en otro lugar dijimos rrespekto de la anarkía eksistente en materia de fórmulas aplikadas a las kañerías.

**11.—Fórmula de de Prony.**—Ke la korriente de agua en una kañería embuelbe una forma de rresistenzia proporzional a la belozidad,

$$f(V) = \alpha V,$$

ademas de la orijinada por el perímetro mojado,

$$f(V) = \beta V^n,$$

fué la konsiderazion ke llebó a de Prony (1804) a rrepresentar el koefiziente de rrozamiento de la ekuazion jeneral del derrame (4), por una rrelazion de la forma

$$\frac{f}{g} = \frac{a}{V} + b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6),$$

en la kual $a$ i $b$ son konstantes ke deben determinarse esperimentalmente.

Así, sustituyendo en dicha ekuazion jeneral (tomada

kon índize $n=2$), $\frac{f}{g}$ por su balor, la fórmula de Prony keda

$$\frac{DJ}{4}=aV+bV^2;$$

o bien, para azer mas fázil la komparazion kon las fórmulas que bienen mas adelante,

$$J=\frac{4(aV+bV^2)}{D}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots(7).$$

Los balores fijos de $a$ i $b$, dados por la misma autoridad i sensiblemente konfirmados mas tarde por otros imbestigadores son:

$$a=0{\cdot}0000173$$
$$b=0{\cdot}000348$$

La fórmula (7) se basa en una konsiderazion korrekta, a estar a los rresultados de la esperienzia, no impugnados asta akí, por lo ke toka a la doble proporzionalidad tomada en kuenta. No suzede lo mismo, empero, rrespekto de estos tres puntos ke an sido diluzidados kon posterioridad a los trabajos de de Prony: 1) los koefizientes $a$ i $b$ no toman en konsiderazion la influenzia ke ejerze sobre la rresistenzia al mobimiento del agua, el estado de la superfizie interna de los kaños; 2) el índize 2 de la belozidad es fijo, a la bez que dichos koefizientes son konstantes, lo que no puede llebar a rresultados ke konkuerden kon los de la práktika sino dentro de límites rrestrinjidos; i 3) el índize del diámetro es ziempre la unidad, lo ke es inkorrekto dentro de las miras aktuales sobre la influenzia del diámetro (independiente de las otras kausas) en la pérdida por frikzion.

Las impugnaciones 2) i 3) son aplikables a kasi todas las fórmulas ke bienen en segida, i kuyos rresultados komparatibos para un gran número de kasos emos kalkulado espezialmente.

**12. Fórmula de Darcy.**—Darcy dedujo la rregla ke lleba su nombre (1857), de una serie mui kompleta de esperimentos praktikados kon toda minuziosidad en las kañerías del agua potable de Paris. El rresultado de sus obserbaziones le indujo a konsiderar komo mas korrekto el prinzipio de ke los koefizientes $a$ i $b$, en lugar de ser konstantes, komo lo suponía de Prony, son en rrealidad bariables; y Darcy los espresó komo funziones del rradio interno de los tubos.

Poniéndose, ademas, en el kaso de ke en la práktika las belozidades son siempre superiores a $0^m.100$ por segundo, eliminó en (7) el término $a\,V$, introduziendo, en kompenzasion, un pekeño kambio korrektibo en el balor de $b$. La fórmula binomia de de Prony kedó, así, kombertida en una fórmula monomia, menos inkómoda para los kálkulos i, ademas, basada en konsideraziones mas azeptables en konjunto, rrespekto del berdadero karákter de los koefizientes.

Darcy puso senzillamente—

$$\frac{f}{g} = b,$$

en lugar de

$$\frac{f}{g} = \frac{a}{V} + b;$$

i dió a $b$ la forma

$$b = \alpha + \frac{\beta}{r},$$

kon

$$\alpha = 0{\cdot}000507,$$
$$\beta = 0{\cdot}00000647,$$

para el kaso de kañerías en uso despues de algun tiempo, es dezir, interiormente rrekubiertas kon zierto depósito.

Esta fórmula se enkuentra en los libros kon notazion mui bariada, dentro de ese sistema de irregularidad ke ya emos señalado mas de una bez, i kon sus koefizientes rreferidos, ora al rradio, komo lo izo Darcy, ora al diámetro, komo es mas frekuente aora.

Así, por ejemplo, Vigreux * pone

$$\zeta = \frac{4L}{d}\left(0{\cdot}000507 + \frac{0{\cdot}00000647}{r}\right)u^2.$$

Es mas komun enkontrarla de esta manera:

$$\frac{DJ}{4} = \left(0{\cdot}000507 + \frac{0{\cdot}0000129}{D}\right)V^2,$$

de donde

$$J = 4\left(0{\cdot}000507 + \frac{0{\cdot}0000129}{D}\right)\frac{V^2}{D} \quad \ldots \quad (8).$$

Todabía, en una kartera mui konsultada (*Aide-Mémoire de l'Ingenieur*), se allará rrespekto del koefiziente de frotamiento de Darcy:

$$\lambda = 0{\cdot}01989 + \frac{0{\cdot}0005078}{d},$$

komo koefiziente ke deba emplearse en la fórmula de

* *Traité théorique et pratique d'Hydraulique appliquée. Introductions.* Paris, 1889. (Bernard).

la karga total perdida por frikzion, o sea, segun notazion de la misma kartera,

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Los ingleses, grandes simplifikadores—no tratándose de pesos i medidas—, kondensan la regla de Darcy, sakrifikando lijeramente el balor de los términos del koefiziente, en una forma (§ 13) ke métrikamente podemos rrepresentar komo sige:

$$J = \left[0{\cdot}002\left(1 + \frac{1}{40D}\right)\right]\frac{V^2}{D} \quad \ldots\ldots \quad (9).$$

Tanto en esta komo en las otras formas el koefiziente korresponde a las kañerías inkrustadas; para las kañerías nuebas de fierro fundido, el koefiziente es solo la mitad del anterior. Una klasifikazion tan neta en solo dos grados de rrugosidad, para todos los kasos ke puedan presentarse, sujiere la rreflekzion de ke tiene mui poko balor práktiko el esmero en espresar kon tanta zifra dezimal los koefizientes de (8), i ke la fórmula simplifikada ke prezede bastaría para la jeneralidad de las aplikaziones.

La pérdida de karga por unidad de lonjitud, rreferida al gasto, se obtiene sustituyendo $V$ por su balor $\frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$, a saber:

$$J = 6{\cdot}484\left(\frac{0{\cdot}000507}{D^5} + \frac{0{\cdot}0000129}{D^6}\right)Q^2 \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

para las kañerías usadas, i kon koefiziente rreduzido a la mitad, para las kañerías nuebas.

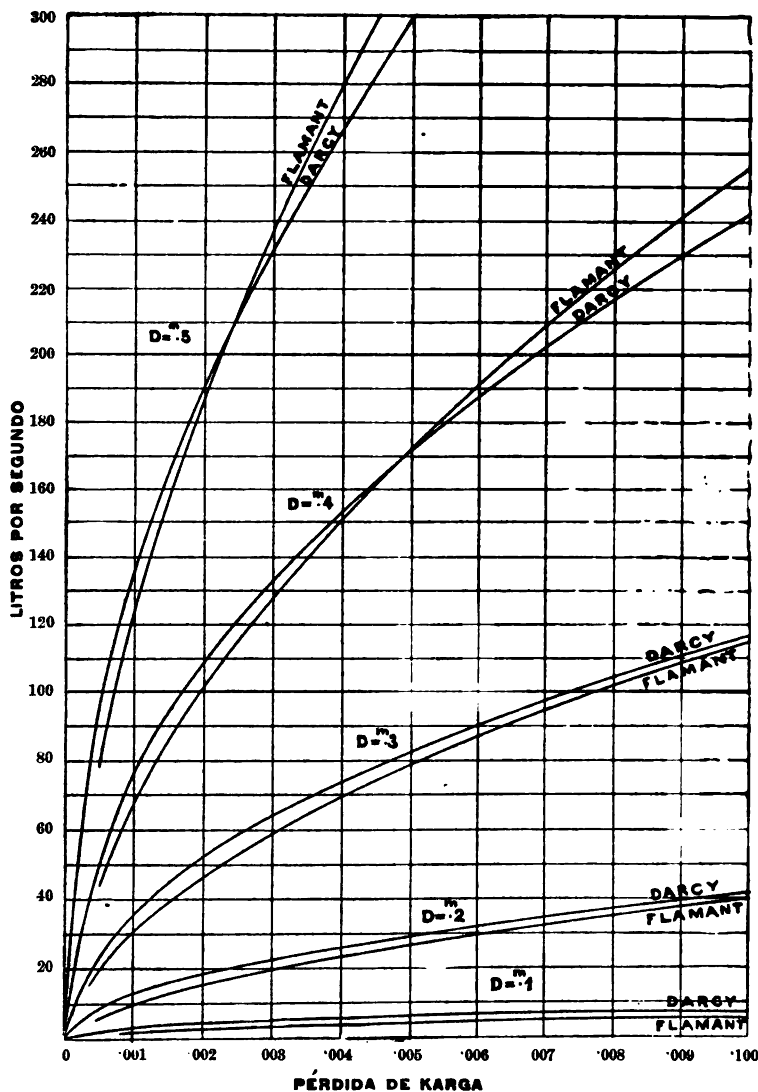



FIG. 3.—KOMPARAZION DE LA FÓRMULA DE DARCY KON LA DE FLAMANT.

A pesar de las objeziones teórikas ke pueden azerse a la fórmula de Darcy, rrespekto de los índizes de $V$ i de $D$, i de ke en los últimos años se an propuesto nuebas fórmulas en su rreemplazo, bemos, no obstante, ke en tratados mui rrezientes sobre idráulika o sus aplikaziones, la rregla de Darcy es la adoptada de preferenzia.*

En pugna kon lo anterior se lee en Vigreux: "A pesar de la autoridad de Darcy, no es su fórmula sino la de de Prony i sus koefizientes, los ke jeneralmente se aplikan en el día, por lo menos en Franzia." †

Fuera de la komparazion jeneral ke se aze en la TABLA I, puede kompararse en partikular (gráfikamente) la fórmula de Darcy kon la de Flamant, por medio de las kurbas de la FIG. 3. Dejamos al lektor ke sake sus dedukziones, eksaminando dichas kurbas.

**13. Fórmula de Rankine.**—Rankine, en su *A Manual of applied Mechanics* ‡ estableze la ekuazion jeneral de la rresistenzia de frikzion de los fluidos en la forma

$$R = f \delta S \frac{v^2}{2g}.$$

En esta ekuazion, $S$ rrepresenta la superfizie de kontakto, $\delta$ el peso de la unidad de bolúmen del fluido, i $f$ el faktor o koefiziente de frikzion (numérikamente el doble del konsiderado (1), § 8, por

* Por ejemplo: Bovey, *A Treatise on Hydraulics*, Nueba York, 1895, (Wiley); Blaine, *Hydraulic Machinery, with an Introduction to Hydraulics*, Londres, 1897, (Spon); Carter, *Motive Power and Gearing for Electrical Machinery*, Londres, 1897, ("The Electrician"); etz.

† Obra zitada, p. 68.

‡ 12ª edizion, Londres, 1888, (Griffin).

tomarse en el presente kaso $2g$ en bez de $g$). Esto permite dezir ke la rresistenzia konsiderada es proporzional *al peso de un prisma del fluido, kuya base es la superfizie mojada, i su altura, la altura debida a la belozidad.*

La misma obserbazion es aplikable a un tubo o kondukto zilíndriko, kaso para el kual Rankine azepta los koefizientes de Darcy.

El mismo autor, en su libro mas konsultado por los injenieros práktikos (*Useful Rules and Tables*), sin azer menzion de los anteriores koefizientes, pone ke la pérdida de karga $h$, en la lonjitud $l$, de una kañería de diámetro uniforme $d$, todo espresado en pies ingleses, es

$$h = \frac{4fl}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

$$= 0{\cdot}02 \left(1 + \frac{1}{12d}\right) \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{64{\cdot}4},$$

para los kálkulos sobre kañerías nuebas.

Aora bien, si en esta ekuazion pasamos $l$ al primer miembro, efektuamos las operaziones indikadas, i en segida rreduzimos a métrika la fórmula, nos rresulta la de Darcy, simplifikada segun se izo anteriormente, i kon una lijera diferenzia en el segundo término del koefiziente.

Es mas komun allar en los libros ingleses la misma fórmula, kon $f = 0{\cdot}005 \left(1 + \frac{1}{12d}\right)$ i $\frac{4l}{d}$, en lugar de

$4f = 0{\cdot}02 \left(1 + \frac{1}{12d}\right)$ i $\frac{l}{d}$ komo puso Rankine.

Los rresultados korrespondientes a la fórmula konsiderada, obtenidos primeramente en medida inglesa, an

sido rreduzidos a litros, i así figuran en la TABLA I. Puede berifikarse ke no ai kasi diskrepanzia alguna entre esos rresultados i los obtenidos kon la fórmula orijinal.

**14. Fórmula de Colombo.**—El Profesor Colombo, de Milan, en su eszelente *Manuale dell'Ingegnere*,* adopta las sigientes fórmulas rrelatibas al mobimiento del agua en los konduktos, bajo presion.

Sea $Y$, espresada en 'metros' de agua la pérdida de karga por frikzion en un kondukto de largo $L$, diámetro $D$, belozidad $V$, i gasto $Q$ por segundo; todas las dimensiones en metros. Entonzes,

$$Y = 2b \frac{L}{D} V^2, = \beta L \frac{Q^2}{D^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10);$$

$$Q = \sqrt{\frac{YD^5}{\beta L}};$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{\beta L Q^2}{Y}}.$$

$b = 0{\cdot}0006$; $\beta = 0{\cdot}002$, para konduktos lisos (fundizion nueba, zemento).

$b = 0{\cdot}0012$; $\beta = 0{\cdot}004$, para konduktos rrugosos (fundizion inkrustada, etz.).

Para los kaños de fierro fundido, en serbizio korriente,

$$b = 0{\cdot}00075; \ \beta = 0{\cdot}0025.$$

Este koefiziente intermedio ($\beta$) es el ke emos adoptado para kalkular el gasto, segun la fórmula de Colombo, en la serie de 12 diámetros i 7 balores de $J$, de la tabla komparatiba. Puede obserbarse ke estos rresultados

* 15.ª edizion, Milan 1897. (Hoepli).

se konfunden, para el diámetro 0.$^{m}$050 kon los de la fórmula Darcy N.° 1; para los diámetros mayores los rresultados ban apartándose progresibamente. (Béase, ademas, azerka de rresultados komparatibos, el ejemplo zitado en el § 30).

Finalmente, el balor de la pérdida de karga por unidad de lonjitud, adoptando el koefiziente intermedio, es:—

$$J = 0{\cdot}0015 \frac{V^2}{D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

kon rreferenzia a la belozidad, i

$$J = 0{\cdot}0025 \frac{Q^2}{D^5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

kon rrespekto al gasto.

**15. Fórmula de Trautwine.**—La rreputada kartera que lleba este nombre estableze komo sige la fórmula rrelatiba a la belozidad:

$$\left.\begin{array}{c}\text{Belozidad media}\\ \text{aproksimada}\\ \text{en pies por segundo}\end{array}\right\} = \begin{array}{c}\text{koefiziente}\\ \text{m}\\ \text{de abajo}\end{array} \times \sqrt{\frac{\text{diám. en piés} \times \text{karga total en piés}}{\text{largo total en piés} + 54 \text{ diáms. en piés}}}$$

**Tabla de koefizientes "m"**

| $\sqrt{\frac{\text{diám.} \times \text{karga}}{\text{largo} + 54\ \text{diáms.}}}$ * | diámetro* de los kaños, en piés 0·5 | ·10 | ·50 | 1 | 1·5 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | m | m | m | m | m | m | m |
| ·005 | 29 | 31 | 33 | 35 | 37 | 40 | 44 | 47 |
| ·010 | 34 | 35 | 37 | 39 | 42 | 45 | 49 | 53 |
| ·020 | 39 | 40 | 42 | 45 | 49 | 52 | 56 | 59 |
| ·030 | 41 | 43 | 47 | 50 | 54 | 57 | 60 | 63 |
| ·050 | 44 | 47 | 52 | 54 | 56 | 50 | 64 | 67 |
| ·100 | 47 | 50 | 54 | 56 | 58 | 62 | 66 | 70 |
| ·200 i mas | 48 | 51 | 55 | 58 | 60 | 64 | 67 | 70 |

* Para diáms. intermedios, etz., tomar de la tabla koefizientes intermedios, por simple proporzion.

"Estos koefizientes son promedios aproksimados, deduzidos de gran número de esperimentos. Siempre ke se trate de kañerías en buena kondizion, kuidadosamente kolokadas i en línea rrekta, o poko menos, deberán los koefizientes dar rresultados digamos 5 a 10% diferentes de los berdaderos. No ai ke olbidar, sin embargo, ke pekeñas diferenzias de rrugosidad, etz., pueden ser kausa de mucho mayor bariazion, en espezial para los kaños de pekeño diámetro, en kuyo kaso un zierto grado de aspereza afekta en mayor proporzion el área kompleta de la sekzion trasbersal, ke en un kaño de mayor diámetro."

Estas mui sensatas obserbaziones son aplikables a todas las fórmulas, i, kon tal motibo, nos a parezido kombeniente azer la traskripzion ke prezede. Nunka podrá insistirse demasiado en ke lo úniko ke kon las fórmulas idráulikas puede pretenderse, es un mayor o menor grado de aproksimazion; en ningun kaso la zertidumbre de un rresultado esakto.

La fórmula ke da Trautwine, rreproduzida en detalle i en su medida orijinal, es la de Hawkesley, pero kon koefizientes bariables en bez de uno fijo. Debemos llamar la atenzion azia el echo de ser la única entre las inkluidas en la presente komparazion, ke enzierra un término korrektibo para ebitar las diberjenzias tan notables ke rresultan de aplikar las fórmulas inkompletas a los kálkulos sobre kañerías kortas. Dicho término, para el kaso de konduktos de rrelatiba gran lonjitud, kareze de objeto, i es solo una komplikazion para los kálkulos. Por eso, kuando se presentan las zirkunstanzias espeziales, en ke deban tomarse en kuenta las frakziones de $H$ absorbidas por la belozidad, por la

kontrakzion de la entrada, etz., bale mas azer el kálkulo kompleto segun se indika en el § 37.

Los datos komparatibos sobre la fórmula de Trautwine, ke figuran en la TABLA I, an sido obtenidos primeramente en medida inglesa, i en segida rreduzidos a litros por segundo.

El balor de la pérdida de karga por unidad de lonjitud sería, teniendo en kuenta ke $\frac{H}{L} = J$, el sigiente:—

$$J = \frac{L + 54D}{m^2 LD} V^2 \;\ldots\ldots\ldots\ldots \;(13);$$

o, en funzion de gasto,

$$J = \frac{L + 54D}{0{\cdot}6168 m^2 L D^5} Q^2 \;\ldots\ldots\ldots \;(14).$$

**16. Fórmula de Flamant.**—Este autor es uno de los mas rrezientes imbestigadores en la materia ke nos okupa. Flamant no se basa, para deduzir la fórmula ke lleba su nombre, en esperimentos propios sino en "un eksámen detallado de un gran número de rresultados de esperimentos i de obserbaziones" de los muchos idraulizistas ke le an prezedido en el mismo estudio. Esta zirkunstanzia no puede aminorar el mérito de sus konklusiones. Téngase presente ke tambien de Prony pudo establezer su fórmula, konsiderada todabía komo un balioso kontinjente para la idráulika, sin esperimentos propios, basándose únikamente en un akopio mas bien insignifikante de datos i obserbaziones esperimentales de du Buat, Coulomb, etz.

La fórmula rreferida * es de esponentes frakziona-

* A. Flamant, *Hydraulique*, p. 151. Paris, 1891. (Baudry).

rios. Basándose prinzipalmente en las modernas imbestigaziones de Osborne Reynolds, Unwin i otros, las kuales demuestran ke la frikzion no es de ningun modo proporzional, para el grado de aspereza de los kaños de fierro nuebos o en serbizio korriente, a $V^2$, sino a una potenzia menor de $V$, el autor nombrado deduze para $n$ el balor 1·75, o sean $\frac{7}{4}$; así mismo, deduze para el esponente del diámetro el balor $m = 1{\cdot}25$, o sean $\frac{5}{4}$; i para el koefiziente numériko el de $k = 0{\cdot}00092$, si se trata de kaños en serbizio korriente, i $k = 0{\cdot}00075$, en el kaso de kaños nuebos de fierro fundido.

En rresúmen, limitándonos al primer kaso, i empleando la propia notazion del autor, se tiene

$$J = 0{\cdot}00092 \sqrt[4]{\frac{U^7}{D^5}} \quad \ldots\ldots\ldots\ \ldots \quad (15),$$

i en funzion del gasto.

$$J = 0{\cdot}00092 \frac{Q^{7/4}}{0{\cdot}6562 D^{19/4}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (16).$$

Se a podido komprobar en mas de una okasion ke los rresultados de esta fórmula koinziden bastante bien kon las obserbaziones de la práktika, dentro de ziertos límites ke sería mui difízil establezer *a priori.* Así, por ejemplo, uno de los distingidos injenieros de las Obras de Salubridad de Buenos Aires, don Emilio Lejeune, a tenido la oportunidad de berifikar, por medio de prolijas determinaziones piezométrikas, ke las pérdidas de karga korrespondientes a dibersos puntos de la gran kañería ke se estiende desde la bokatoma, en el rrio, asta el estable-

zimiento de las Aguas Korrientes, konkordaban eksaktamente kon las indikaziones de la fórmula de Flamant.

Debe tenerse mui presente, sin embargo, ke tampoko esta fórmula, del mismo modo ke ninguna aisladamente de las konozidas, es aplikable, sin peligro de grabes ekibokaziones, a todos los kasos ke pueden okurrir en la práktika.

Tomemos un ejemplo.

La East Jersey Water Company, de Newark (Estados Unidos), inkurrió no aze mucho en el kostoso error de kalkular en 1.$^{m}$22 el diámetro de una kañería de azero laminado, de 34 kilómetros de largo i 2 por mil de gradiente, kon kapazidad kalkulada para konduzir 2190 litros por segundo, o sean 189 200 $M^3$ en las 24 oras. Aora bien, el gasto rrealmente obtenido no alkanzó sino al 70% del kalkulado i, komo konsekuenzia, se juzgó kombeniente mas bien duplikar la kañería.*

Ignoramos la fórmula empleada por el injeniero de la nombrada kompañía; pero es instruktibo aberiguar los rresultados de la fórmula de Flamant, kon los balores $J$ i de $D$ apuntados mas arriba.

Si en

$$0{\cdot}002 = 0{\cdot}00092 \frac{V^{1{\cdot}75}}{1{\cdot}22^{1{\cdot}25}}$$

se reemplaza $V$, o sea la belozidad media por su balor $\frac{Q}{0{\cdot}7854\,D^2}$, i se despeja a $Q$, keda

$$Q = 0{\cdot}7854 \left(\frac{0{\cdot}002}{0{\cdot}00092}\right)^{4/7} \times 1{\cdot}22^{19/7} = 2100 \text{ litros.}$$

* Blaine, obra zitada. Todos los datos orijinales de este ejemplo están en medida inglesa, i se a echo la rredukzion a medida métrika, para mayor klaridad.

Es dezir, la fórmula de Flamant abría echo suponer ke el diámetro 1.$^{m}$22 de la kañería, era práktikamente sufiziente para asegurar el gasto rrekerido. Mientras tanto, el gasto berdadero fue solo el 70% de 2190, o sean 1533 litros, lo ke prueba ke la indikada fórmula, aplikada al kaso en diskusion, abría dado un rresultado kasi tan erróneo:—igualmente erróneo, si se kiere, por las konsekuenzias.

A gisa de komparazion, e akí las zifras ke arrojan algunas de las fórmulas de la TABLA I, rrespekto del kaso espezial de la East Jersey Water Company:—

| | | |
|---|---|---|
| Darcy N.° 2 .............. | 1157 | litros |
| Fórm. IV .................. | 1407 | „ |
| Colombo .................. | 1490 | „ |
| *Gasto efektibo* ............ | 1533 | „ |
| Fórm. III ................. | 1710 | „ |
| Darcy N.° 1 .............. | 1799 | „ |
| Flamant .................. | 2100 | „ |

Por konsekuenzia, ai ke azeptar komo la mas adaptable, *para este kaso partikular*, la fórmula del manual de Colombo, kon koefiziente medio. Partiendo de la base de los 2190 litros nezesitados, dicha fórmula aplikada a la determinazion del diámetro, daría

$$D = \sqrt[5]{\frac{0{\cdot}0025 \times 34000 \times 2{\cdot}19^2}{68}} = 1.^{m}430.$$

La Fórm. IV da para el diámetro el balor de 1.$^{m}$446, innezesariamente algo grande, kizas.

Para ke la de Flamant korrespondiera al rresultado efektibamente obtenido de 1553 litros, sería nezesario aumentar el koefiziente, de 0·00092 a 0·00160; es dezir,

kasi duplikarlo, lo ke echaría por tierra todas las konsideraziones ke an serbido al establezimiento de la fórmula misma.

Las kurbas de la FIG. 3 permiten komparar, para algunas kondiziones espeziales de kaños en uso korriente, la fórmula de Flamant kon la de Darcy.

**17. Fórmula Thrupp-Robinson.**—El Profesor Robinson, del King's College, de Londres, autor de uno de los mejores tratados sobre makinaria idráuka—*Hydraulic Power and Hydraulic Machinery* *—, konsigna en ese libro i en su mas rreziente obra, *Sewerage and Sewage Disposal*, † las sigientes fórmulas jenerales sobre el mobimiento del agua en konduktos zerrados o abiertos:—

$$V = \frac{R^x}{C \sqrt[n]{S}},$$

$$Q = \frac{D^{x+2}}{P \sqrt[n]{S}},$$

en las ke—

$V$ = belozidad media del agua, en metros; ‡

$Q$ = gasto en metros kúbikos por segundo;

$R$ = rradio medio o, lo ke es lo mismo, $\frac{\text{sekzion}}{\text{perímetro mojado}}$;

$S$ = kosekante del ángulo de inklinazion de la gradiente idráulika, o sea $\frac{\text{largo}}{\text{altura}}$;

$D$ = diámetro en metros.

* 2.ª edizion, Londres, 1893 (Griffin).

† Londres, 1896 (Spon).

‡ Nos a parezido kombeniente azer estas fórmulas intelijibles para la mayoría de los lektores, rreduziéndolas a métrikas, a kuyo efekto se an modifikado los koefizientes numérikos.

El índize $x$, la rraíz $n$, i los koefizientes $C$ i $P$, dependen de la naturaleza de la superfizie mojada del kondukto.

Para kaños nuebos de fierro fundido:

$C = 0{\cdot}0079$; $P = 0{\cdot}0255$; $n = 1{\cdot}85$; $x = 0{\cdot}67$.

Para kaños biejos de la misma materia:

$C = 0{\cdot}0256$; $P = 0{\cdot}0815$; $n = 2$; $x = 0{\cdot}66$.

"Estas fórmulas (dize el Prof. Robinson), a ke a llegado Mr. Edgard Thrupp, primer ayudante del autor, estan basadas en los rresultados de esperimentos propios i de otros obserbadores, llebados a kabo en los últimos kuarenta años."

E akí un ejemplo mui karakterístiko de komo bajo las notaziones mas dibersas pueden albergarse fórmulas de una misma estruktura orijinal. Es este prezisamente uno de los inkombenientes ke antes emos señalado, tokante al kompleto desakuerdo ke eksiste en la manera de rrepresentar esas fórmulas. La eksaminada, sin duda alguna, se ofreze al espíritu komo una simple espresion de konjunto de las rrelaziones ke ligan los dibersos elementos determinantes de la belozidad o el gasto, en una kañería de agua. Fuera de esta primera impresion, la senzillez es solo aparente, puesto ke al llegar a las operaziones numérikas nos enkontramos kon ke $R^x$ es $\left(\frac{D}{4}\right)^x$, i ke la kosekante del ángulo de inklinazion de la gradiente idráulika no es sino la rrezíproka de $J$, esto es $\frac{1}{J}$ o $\frac{L}{H}$.

Kon el propósito de azer mas fázil la komparazion de la fórmula Thrupp-Robinson kon las otras ke se an eksaminado asta akí, adaptaremos sus términos a los de

la ekuazion jeneral (5), despejando a $J$, ke se alla embuelta en la kantidad subrradikal $S$.

Entonzes,

$$J = (4^x C) \frac{V^n}{D^{xn}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17),$$

o sea, dando a $x$, $C$, i $n$ los balores korrespondientes a las kañerías nuebas de fierro kolado,

$$J = 0{\cdot}00072 \frac{V^{1{\cdot}86}}{D^{1{\cdot}24}} \cdot$$

Para el fierro fundido, biejo, se tiene

$$J = 0{\cdot}0041 \frac{V^{2}}{D^{1{\cdot}32}} \cdot$$

Por fin, las ekuaziones para el gasto serian rrespektibamente:—

La jeneral,

$$Q = \frac{\pi}{4^{x+1} C} J^{\frac{1}{n}} D^{x+2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (18);$$

la designada en la TABLA I komo Thrupp 1,

$$Q = 39{\cdot}2 J^{20/37} D^{267/100} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (19);$$

i, la designada komo Thrupp 2,

$$Q = 12{\cdot}3 J^{1/2} D^{266/100} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (20).$$

Llaman la atenzion en dicha tabla, los bajos balores de $Q$ obtenidos kon esta última ekuazion del gasto, bastante inferiores a los korrelatibos de la fórmula Thrupp 1, o a los de kualkiera de las otras sometidas a komparazion. Kizá por tal motibo la fórmula 2 no sea la mas adekuada para los kálkulos konzernientes a kañerías de mediano o gran diámetro, por mui inkrustadas ke

ellas sean. Es probable, en kambio, ke arroje los rresultados mas aproksimados para los kaños de pekeño diámetro, en los kuales la influenzia de la rrugosidad es mucho mas notable.

## KAPÍTULO IV.

### *GAMA DE FÓRMULAS I–V.*

**18. Insufizienzia de una sola fórmula en la práktika.**—Eksaminemos, ante todo, si el manteuimiento de la gran bariedad de fórmulas en uso tiene su esplikazion en la persistenzia de toda kostumbre, o, en realidad, obedeze a un órden mas serio de konsideraziones. Atendiendo nada mas ke a las obserbaziones ke nos kupo azer sobre los rresultados erróneos a ke la fórmula de Flamant podría llebar en ziertos kasos, ai ke desechar komo inadmisible la primera suposizion, por lo menos en parte. Kiere esto dezir senzillamente ke, si la fórmula de dicho autor no puede ser unibersal, ke tiene tambien sus límites fuera de los kuales no puede aplikarse satisfaktoriamente, es klaro, entonzes, ke en ziertas okaziones abrá nezesidad de emplear dibersa fórmula, kon otros koefizientes u otros esponentes,—¿kuál? Fuera mui difízil establezerlo *a priori;* solo kabe insistir en el echo de ke, en jeneral, el mejor gia será siempre atenerse, en kuanto sea posible, a los rresultados práktikos, bien komprobados, ke se ayan obtenido en las zirkunstanzias mas semejantes a las del kaso por diluzidar.

Lo dicho inzidentalmente azerka de la fórmula de

Flamant, es aplikable a todas las demas fórmulas empírikas sobre la misma materia.

En berdad, dado el estado aktual de los konozimientos idráulikos, puede dezirse ke todas las fórmulas sobre las kañerías son buenas, o ke todas son igualmente malas: ello dependerá, naturalmente, del kriterio kon ke sean aplikadas, de la amplitud ke se kiera dar a su kapazidad de konkordar kon los echos, dentro del órden de fenómenos ke abarka el mobimiento del agua en los konduktos.

Una de las prinzipales kausas de inzertidumbre en la aplikazion de las fórmulas, konsiste en el bago significado de la espresion 'rrugosidad.' La bariable rrugosidad o aspereza de los kaños no es, por desgrazia, suszeptible de espresarse numérikamente en grados fijos de rreferenzia: sin embargo, por difízil ke sea establezer tipos rrigurosamente komparables de esa kondizion físika de la superfizie interna, se komprende en todo kaso ke en la práktika sea posible ir algo mas allá de la mui rrudimentaria e insufiziente klasifikazion de 'fierro nuebo' i 'fierro biejo,' tal komo lo establezen p. e. Darcy i Thrupp para sus rrespektibas fórmulas.

Adoptando komo tipo asta zierto punto normal la superfizie de los kaños nuebos de fierro fundido, alkitranados en estado kaliente (kaños de agua potable), puede apreziarse sin difikultad, *por lo menos* un grado inferior i otro superior de rrugosidad interna. Sería este último, por ejemplo, el korrespondiente a los kaños lijeramente inkrustados, en uso kon agua potable normal. Tal será la kondizion ke en adelante designaremos komo *rrugosidad media*, a falta de toda otra graduazion ekibalente, de karákter zientífiko.

**19. Nezesidad de una serie gradual de fórmulas.**—Rrekonozido de una manera jeneral el echo anterior, despréndese komo konsekuenzia lójika la nezesidad de una fórmula múltiple, establezida de modo ke sus bariantes aseguren zierta gradazion de rresultados, fázil de apreziar i de aplikar para los kálkulos. Basta un lijero eksámen de la TABLA I (i en partikular de las kurbas de la FIG. 3, en ke se kompararan kon dibersos balores de $D$ i de $J$, la fórmula de Flamant kon la de Darcy N.° 1), para formar konzepto de la naturaleza i la magnitud del error en ke es posible inkurrir, a estar a rresultados komparatibos *aislados*, entre dos fórmulas dadas. Por ejemplo, todo kálkulo echo kon la fórmula de Flamant, para diámetros asta de 0.$^{m}$300 i gradientes asta, a lo menos, de 10 por mil, rresulta inferior al korrespondiente obtenido kon la fórmula de Darcy. Sin embargo, ya desde el diámetro de 0.$^{m}$400, i kon pendientes inferiores a 5 por mil, la fórmula de Darcy empieza a kedar atras, i la diferenzia a aumentar progresibamente. Sin konozer esta zirkunstanzia, lo natural es segir aplikando siempre Flamant para los diámetros mayores, en la errónea suposizion de kolokarse por este medio al abrigo de rresultados mui elebados, kuando lo ke okurre es prezisamente lo kontrario.

**20. Fórmula jeneral de Reynolds.**—La tentatiba mas kompleta ke se a echo para espresar por una simple lei la frikzion del agua en mobimiento en los kaños, tomando en kuenta todos los elementos ke entran en juego, es indudablemente la del Profesor Osborne Reynolds. Estos elementos son, segun se a bisto, el diámetro del kondukto, la rrugosidad de la

superfizie mojada, la belozidad del agua, i la biskosidad de la misma, estado molekular este último, ke es una funzion de la temperatura.

Dicha lei puede espresarse en la forma jeneral—

$$J = T^{2-n} \frac{K^n}{A} \frac{V^n}{D^m} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (21);$$

o bien, si se sustituye $V$ por su balor $\frac{4Q}{\pi D^2}$,

$$J = T^{2-n} \frac{K^n}{A} \left(\frac{4}{\pi}\right)^n \frac{Q^n}{D^{2n+m}} \quad \ldots\ldots \quad (22).$$

En estas espresiones se tiene:—

$J = \frac{H}{L}$, o sea la inklinazion de la gradiente idráulika, komo en las fórmulas anteriores;

$T = (1 + 0{\cdot}0336t + 0{\cdot}000221t)$, siendo $t$ la temperatura zentígrada; *

$\frac{K^n}{A} = \frac{396^n}{67{\cdot}7 \times 10^6}$, un koefiziente numériko;

$n =$ índize komprendido (a kontar desde ke se eszede el punto de belozidad krítika) entre 1·7 para los kaños o tubos mas lisos, i 2 a 2 i frakzion para los de superfizie interna mui áspera;

$m = 3 - n$ segun Reynolds; pero, segun Unwin, balor ke debe determinarse independientemente de $n$, para kada kaso;

* Esta espresion, ke se alla en rrazon imbersa del koefiziente de frotamiento interior del agua, es la misma establezida aze medio siglo por Poiseuille, en sus esperienzias rrelatibas al mobimiento de los líkidos en los tubos kapilares.— Béase Mascart et Joubert, *Leçons sur l'électricité et le magnetisme*, p. 456. Paris, 1886, (Masson).

$V$ = belozidad media en metros, o sea la rrelazion $\frac{Q}{0{\cdot}7854\,D^2}$; i

$D$ = diámetro del kondukto en metros.

Tampoko puede tomarse la fórmula jeneral propuesta por Reynolds komo una soluzion idrodinámika kompleta del problema, sino komo un esfuerzo mas efikaz para espresarla empírikamente. Nos proporziona, eso si, el modo de koordinar una gama de fórmulas ke pueda abarkar sensiblemente todos los rresultados obtenibles kon las fórmulas aisladas o dispersas eksaminadas en el kapítulo anterior, i libre ademas de las objeziones ke se señalan en el § 19.

En konformidad kon estas ideas, emos kalkulado las zinko bariantes ke se espresan a kontinuazion, dando a $n$ balores graduales desde 1·8 asta 2, i a $m$ los korrelatibos ke rresultan de la espresion $3-n$. Konsideramos esta serie komo sufiziente para el propósito en bista. Ela akí:

Fórmula I:

$$J = 0{\cdot}0007\,\frac{V^{1\cdot8}}{D^{1\cdot2}} = 0{\cdot}00108\,\frac{Q^{1\cdot8}}{D^{4\cdot8}}\;\ldots\ldots\; (23).$$

Fórmula II:

$$J = 0{\cdot}000944\,\frac{V^{1\cdot85}}{D^{1\cdot15}} = 0{\cdot}001476\,\frac{Q^{1\cdot85}}{D^{4\cdot85}}\;\ldots\; (24).$$

Fórmula III:

$$J = 0{\cdot}001274\,\frac{V^{1\cdot9}}{D^{1\cdot1}} = 0{\cdot}002015\,\frac{Q^{1\cdot9}}{D^{4\cdot9}}\;\ldots\; (25).$$

Fórmula IV:

$$J = 0{\cdot}001717\,\frac{V^{1\cdot95}}{D^{1\cdot05}} = 0{\cdot}00275\,\frac{Q^{1\cdot95}}{D^{4\cdot95}}\;\ldots\; (26).$$

Fórmula V:

$$J = 0{\cdot}0023 \frac{V^2}{D} = 0{\cdot}003755 \frac{Q^2}{D^5} \; \ldots\ldots\ldots \; (27).$$

Eszeptuada la fórmula Thrupp N.° 2, de rresultados komparatibos tan bajos, segun se obserbó mas arriba, todas las otras kaben dentro de la serie anterior, debiendo adbertir ke, para lograr una koinzidenzia mas aproksimada se a omitido en ella el faktor de la temperatura $T^{2-n}$.

La TABLA I, enkabezada kon los rresultados de las zinko antedichas fórmulas, i las kurbas de la FIG. 10, en el KAPÍTULO VII, permiten sakar algunas dedukziones mui instruktibas sobre las bentajas de una serie ordenada en oposizion a la inkonsistenzia de un sistema de fórmulas dispersas.

**21. Obserbaziones sobre la gama anterior.**—Al tratar de las fórmulas ke podemos llamar dispersas o independientes, se dijo ke, salbo una de las konsignadas, todas las otras no toman en konsiderazion sino la rresistenzia dicha de frotamiento. Igual kosa puede rrepetirse rrespekto de la serie de fórmulas I–V propuesta en rreemplazo, bisto ke no se introduze en ellas mas término de rresistenzia ke el de la frikzion. De suerte ke, en uno i otro kaso los rresultados de los kálkulos serán tanto menos aproximados, kuanto mayor sea la gradiente idráulika i mas korta la kañería rrespekto de su diámetro. Se komprende, en efekto, ke esta doble zirkunstanzia influye en el sentido de ke $h_v = \frac{V^2}{2g}$ llege a ser una frakzion de $H$ de magnitud apreziable en presenzia de $h_f$, la pérdida de karga por

rrozamiento. De análoga manera, la belozidad de influjo del líkido en el kondukto, aunke la entrada de este sea de la forma ke mejor se adapte a la kontrakzion de la bena, rrepresenta un balor $h_e = \xi \frac{V^2}{2g}$ ke tampoko es dable despreziar, sin inkurrir en error sensible, kuando las kondiziones son las indikadas.

Por esta misma rrazon, la última kolumna de la TABLA I no korresponde a kasos ke pueden okurrir en la práktika, a menos ke se trate de konduktos kortos, pero mas bien de pekeño diámetro. A sido agregada prinzipalmente kon el objeto de azer rresaltar mejor la estrabaganzia de rresultados para los kasos estremos, kuando en estos se aplika kualkiera fórmula inkompleta, ke no toma en kuenta otra kausa de rresistenzia ke la de frikzion.

Tómese, por ejemplo, la fórmula de Darcy para kaños nuebos de fierro fundido, kon $D = 1$ m. i $J = 1$: por konsigiente, se tiene $Q = 24\,362$ litros i $V = 31$ metros por segundo. Preszindiendo del echo de ser esta una belozidad deskonozida o inadmisible en la práktika, se tiene desde luego ke teórikamente korresponde a una altura mínima de kaída bertikal $H = 49$ m. Por lo tanto, si el kálkulo se a rreferido a kualkiera lonjitud de kañería inferior a este guarismo, el rresultado tiene ke ser mui erróneo, sin ablar de ke ai ke tomar en kuenta, ademas, la frikzion. Esto se rrepetirá siempre para todos los diámetros, mas abajo de zierto balor de la rrelazion $\frac{L}{D}$, ke no es difízil determinar.

# KAPÍTULO V.

## *UNIFIKAZION DE LOS KÁLKULOS SOBRE LAS KAÑERÍAS BASADA EN LA NOZION DE ZIRKUITO IDRÁULIKO.*

**22. Rredukzion de toda fórmula a tres términos jenerales.**—La adopzion de una fórmula múltiple, de koefizientes i esponentes rrelazionados entre si de akuerdo kon una rregla dada, puede suprimir, segun akaba de berse, uno de los prinzipales inkombenientes ke se presentan al tratarse de kualkier problema rrelatibo al mobimiento del agua en las kañerías. De todos modos, desestimando aun esa simplifikazion, por atender a la nezesidad berdadera o fiktizia de mantener tal kual en uso las fórmulas tradizionales, siempre keda márjen, a nuestro juizio, para una mejora: ella sería en el sentido de uniformar, por lo menos, la dibersidad de esfuerzos ke se an echo para espresar satisfaktoriamente, merzed a ziertas rreglas empírikas, la berdadera lei idrodinámika ke pueda rrejir el espresado fenómeno.

La jeneralizazion mas útil ke a tal rrespekto pueda azerse, konsiste en rreduzir sistemátikamente a tres términos jenerales todas las fórmulas idráulikas rreferentes a los konduktos zerrados o abiertos. Konkretándonos a nuestro kaso partikular de las kañerías o

tubos, esos tres términos serían, sin ke tenga importanzia el órden en ke se enumeran:—

1) *H*, la karga total absorbida en mantener zierto rréjimen de korriente en una kañería de sekzion uniforme o desigual. Ora sea grabitazional, ora debida a kompresion artifizial, se espresará en 'metros' de agua, o en presion por unidad de superfizie.

2) *Q*, el gasto, espresado para los kálkulos en metros kúbikos por segundo; o en litros por segundo, o kualeskiera otras unidades, komo dato aislado.

3) *R*, el kondukto, rrepresentado komo elemento de kálkulo, en no importa kual fórmula, por toda otra kantidad ke no sea *H* o *Q*. De la manera komo se agrupen esas kantidades en uno o mas términos, dependerá ke el kondukto rresulte espresado, bien sea en su kapazidad konduktora, bien en la rrezíproka de su kapazidad konduktora. En nuestro kaso, tomamos *R* en esta última forma, es dezir rrepresenta la rresistenzia *total* del kondukto: la de frikzion, únika ke se tomará en kuenta por el momento, así komo toda otra kausa ke embuelba una absorzion de *H*.

Para mayor klaridad, rrepresentemos de akuerdo kon esta idea, las prinzipales fórmulas, de tan dibersa notazion, ke an sido eksaminadas en las pájinas ke prezeden.

Fórmula de Darcy N.º 1:—

$$H = \left\{ \left( \frac{0{\cdot}001643}{D^5} + \frac{0{\cdot}0000419}{D^6} \right) L \right\} Q^2 \;..\; (28).$$

Fórmula de Colombo, koefiziente medio:—

$$H = \left\{ \left( \frac{0{\cdot}00243}{D^5} \right) L \right\} Q^2 \;.......\; (29).$$

Fórmula de Trautwine (Hawkesley):—

$$H=\left\{\left(\frac{1{\cdot}621}{m^2D^5}\right)L+54D\right\}Q^2 \quad \ldots\ldots (30).$$

Fórmula de Flamant:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}0014}{D^{4\cdot75}}\right)L\right\}Q^{1\cdot75} \quad \ldots\ldots (31).$$

Fórmula Thrupp-Robinson:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}001126}{D^{4\cdot94}}\right)L\right\}Q^{1\cdot85} \quad \ldots\ldots (32).$$

Fórmula I de la gama:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}00108}{D^{4\cdot8}}\right)L\right\}Q^{1\cdot8} \quad \ldots\ldots (33).$$

Fórmula II:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}00146}{D^{4\cdot85}}\right)L\right\}Q^{1\cdot85} \quad \ldots\ldots (34).$$

Fórmula III:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}00196}{D^{4\cdot9}}\right)L\right\}Q^{1\cdot9} \quad \ldots\ldots (35).$$

Fórmula IV:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}00264}{D^{4\cdot95}}\right)L\right\}Q^{1\cdot95} \quad \ldots\ldots (36).$$

Fórmula V:—

$$H=\left\{\left(\frac{0{\cdot}00355}{D^{5}}\right)L\right\}Q^{2} \quad \ldots\ldots (37).$$

I, en jeneral:—

$$H=\left\{\left(\frac{4}{\pi}\right)^n\left(\frac{K}{D^{2n+m}}\right)L\right\}Q^n \quad \ldots\ldots (38).$$

Dibidiendo por $L$ ambos miembros de esta última ekuazion, se obtiene

$$J=\left\{\left(\frac{4}{\pi}\right)\frac{K}{D^{2n+m}}\right\}Q^{n}\ldots\ldots\ldots\ldots\ (39),$$

o sea la frakzion de $H\left(=\frac{H}{L}\right)$ absorbida por unidad de lonjitud.

En tal kaso, komo el término entre paréntesis rrepresenta en estas fórmulas únikamente la frikzion, la rresistenzia por unidad de lonjitud podemos rrepresentarla por $\frac{R}{L}=r$. Ademas, todas las kantidades komprendidas por dicho término son konstantes, a eszepzion del diámetro $D$; i komo este, tanto en el komerzio komo en la industria, se alla limitado a un número rrelatibamente pekeño de tamaños, es fázil por konsigiente kalkular *una bez por todas* los dibersos balores de $r$. Así, los kálkulos pueden azerse siempre kon solo tres términos jenerales: la *karga*, la *rresistenzia*, i el *gasto*. Pero, antes de entrar en el fondo del asunto, se aze nezesario esklarezer algunos puntos sekundarios rrelazionados kon la misma materia.

**23. Subdibisiones del término rresistenzia.**—No solo en la ekuazion (38) sino tambien en todas las ke la prezeden el término entre paréntesis korresponde a $R$. Si le dibidimos por $L$, la rresistenzia rreferida la unidad de lonjitud keda

$$r=\left(\frac{4}{\pi}\right)^{n}\frac{K}{D^{2n+m}}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (40).$$

Pero esto no puede berifikarse sino en el kaso ke

toda otra kausa de rresistenzia sea práktikamente nula al lado de la orijinada por el frotamiento del líkido. De akí rresulta ke para las kañerías largas se tenga senzillamente $R = Lr$, despreziando los otros términos de la rresistenzia total.

En rrealidad, eksisten siempre estas kausas sekundarias kapazes de absorber una frakzion mas o menos importante de $H$.

En primer lugar tenemos la misma belozidad, ekibalente segun ya se bió (§ 7), a una frakzion $h_v = \frac{V_1^2}{2g}$ de la karga total disponible, lo ke korresponde a una frakzion $\frac{V_1^2}{2g} Q$ de la enerjía total del sistema. Mas adelante se berá por ke konsideraziones se puede tomar este balor, komo artifizio de kálkulo, en el karákter de una berdadera rresistenzia o kausa rretardatriz, lo ke en rrealidad no es. Por konsekuenzia, al término prinzipal $Lr$ ai ke agregar otro ke rrepresentaremos por $r_v$.

Biene en segida la pérdida o absorzion de enerjía por kontrakzion de la bena líkida a la entrada del kondukto, pérdida ke, komo se sabe esperimentalmente, es una frakzion de $\frac{V_1^2}{2g} Q$. Rrepresentaremos este nuebo término sekundario de la rresistenzia por $r_e$.

Finalmente, tendríamos las rresistenzias de los kodos o las kurbas, de los kambios bruskos de sekzion, etz., etz. Todo esto podría estar inkluido en $R$, si bien no es mui probable ke en la práktika konkurran simultáneamente, de modo apreziable, las dibersas kausas aludidas.

Tómense o no en kuenta todas ellas, la forma de la

rresistenzia total—o sea la rrezíproka de la kapazidad konduktora total—puede espresarse por

$$R = Lr + r_v + r_e + \cdots \quad \ldots\ldots \quad (41).$$

**24. Fórmula del zirkuito idráuliko.**—Interpretado de esta manera el término 'rresistenzia,' la fórmula fundamental propuesta sobre el mobimiento del agua en los tubos tendría el karákter de kompleta, pudiendo espresarse de los dibersos modos ke sigen:—

$$Q^n = \frac{H}{R}, \text{ o bien } Q = \left(\frac{H}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \ldots\ldots \quad (42);$$

$$H = RQ^n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (43);$$

$$R = \frac{H}{Q^n} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (44).$$

Por manera ke, lo ke podríamos llamar el 'zirkuito idráuliko,' no tanto en el sentido físiko komo en el de la forma de tratamiento matemátiko de ke es suszeptible, puede perfektamente asimilarse para los kálkulos a la nozion de potenzial zíkliko. La analojía es kompleta, al rrespekto indikado, kon el kaso del zirkuito eléktriko i el de flujo magnétiko.

El echo de interpretar sistemátikamente, en kualkiera de las fórmulas, la rreunion de todo elemento de kálkulo ke no fuera $H$ o $Q$, komo espresion de la kapazidad konduktora, o de su rrezíproka la rresistenzia, llebónos primeramente a una simplifikazion de konzepto, i, komo konsekuenzia inmediata, a la asimilazion ke akaba de establezerse. En el KAPÍTULO VII se berá ke esta misma konklusion permite tambien simplifikar los kálkulos rrelatibos a la potenzia. Será ese, ademas,

el lugar mas a propósito para aduzir algunas otras konsideraziones teórikas sobre el punto ke nos okupa.

**25. Ipótesis de una dedukzion esperimental de la misma fórmula.**—La ekuazion (42) a sido deduzida por un simple rrazonamiento, basado en el eksámen de numerosas fórmulas idráulikas en aktual uso. Para fijar mejor las ideas sobre este partikular, ai bentaja en imbestigar el asunto por un método diferente: por ejemplo, tomando komo base el estudio de rresultados de la obserbazion direkta, echa estensiba a un número mas o menos konsiderable de esperimentos.

A este fin, pongámonos en la ipótesis de un imbestigador ke, aziendo abstrakzion de los prinzipios ke an serbido de base a la lei del mobimiento del agua en los kaños, kisiera deduzir empírikamente la misma lei, a la luz de las ideas modernas sobre el estado de korriente kontínua en un zirkuito eléktriko. La idea llegará a parezer algo paradójika; pero a la berdad, si bien se mira, es mucho mas komplejo el fenómeno de la rresistenzia idráulika ke el de la eléktrika, por mas ke en este último kaso uno de los faktores sea imponderable e intanjible, en tanto ke en el primero el faktor korrespondiente sea la masa del kuerpo mas familiarmente konozido. No ai, pues, inkongruenzia en la tentatiba de esplikar lo komplejo por lo senzillo.

Echa esta digresion, supongamos aora ke el esperimentador dispusiera de todos los medios nezesarios para kolokarse en el mayor número de kondiziones posibles, en kuanto a diámetro de los tubos, rrugosidad de los mismos, bariaziones de la karga, etz.

Ke la Fig. 4 rrepresente diagramátikamente kualkiera de esas kondiziones.

$H$, en tal kaso, sería la diferenzia total de potenzial de grabitazion;

$R$, el kondukto; i

$Q$, el gasto o derrame, o sea el flujo konstante de zierta kantidad de agua en la unidad del tiempo.

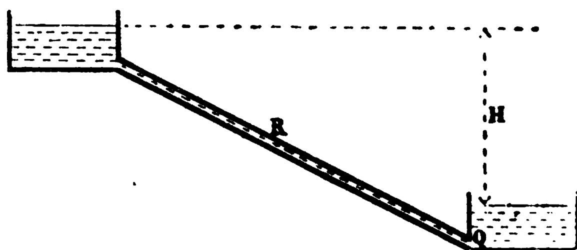



Fig. 4.

Una simple inspekzion de estos elementos le manifestaría, sin nezesidad de atenerse a esperimentos prebios, ke el derrame $Q$ sería tanto mayor kuanto mas lo fuesen $H$ i la kapazidad del kondukto, i bize bersa, de akuerdo kon zierta rrelazion ignorada ke se trata de establezer. En otras palabras, si en lugar de tomar en konsiderazion la kapazidad konduktora, toma su kombersa la rresistenzia, rrepresentada por $R$, tendrá komo punto de partida ke $Q$, el flujo en la unidad de tiempo, será una funzion de $H$, siendo $R$ una konstante.

Una serie jeneral de obserbaziones le demostraría mui pronto ke $Q=f(H)$ no era una funzion kontinua. Mientras ke la 'densidad' de la korriente líkida, $\frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$, es dezir mientras ke la belozidad media del agua no

eszediese de unos 10 a 15 zentímetros por segundo, el balor de $Q$ sería direktamente proporzional a $H$, i, por lo tanto a $\frac{H}{R}$. Podría, pues, sentar esta primera konklusion:—

"La lei ke rrije un estado de korriente kontinua del agua en las kañerías es análoga a la lei de Ohm, kuando la densidad (belozidad) de la korriente no eszede del balor krítiko de unos 15 zentímetros por segundo."

Prosigiendo los esperimentos en kondiziones de belozidades medias ke superasen siempre ese balor krítiko, la simple proporzionalidad desaparecería, para dar lugar a una nueva rrelazion entre $Q$ i $\frac{H}{R}$.

Supóngase ke el promedio de los balores korrespondientes a una serie de determinaziones fuera el sigiente, kon una kañería sufizientemente larga rrespekto del diámetro, a fin de no tomar en kuenta sino la rresistenzia de frotamiento:—*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Balores de $H$, (i, por konsigiente, balores rrelatibos de $\frac{H}{R}$, siendo $R$ una konstante): | 1 | 2 | 5 | 10 | 50 | (A). |
| Balores korrespondientes de $Q$, en litros por segundo: | 10·437 | 15·51 | 26·18 | 38·9 | 97·59 | (B). |
| O, lo ke es lo mismo, rrespekto de la serie anterior: | 1 | 1·486 | 2·508 | 3·727 | 9·35 | (Z). |

* Se an tomado para este kaso ipotétiko, balores ke rrealmente se berifikarían en la práktika, azeptando ke la fórmula de Flamant arroje rresultados esaktos, dentro de los límites del supuesto ejemplo, komo pareze efektibamente los arroja. La serie tomada korresponde a la TABLA I, kon $D = 0.^{m}20$.

Buskando la potenzia a ke debería elebarse kada término de la serie (A), para obtener en kada kaso el balor korrelatibo de la serie (Z), llegaría nuestro ipotétiko obserbador a los sigientes rresultados, rrepresentando por $n$ el índize korrespondiente:—

$$\left.\begin{array}{llll} 1{\cdot}486^n = 2, & \text{de donde} & n = \dfrac{\log 2}{\log 1{\cdot}486} & = 1{\cdot}7498 \\ 2{\cdot}508^n = 5, & ,, & n = \dfrac{\log 5}{\log 2{\cdot}508} & = 1{\cdot}7523 \\ 3{\cdot}727^n = 10, & ,, & n = \dfrac{\log 10}{\log 3{\cdot}727} & = 1{\cdot}7502 \\ 9{\cdot}350^n = 50, & ,, & n = \dfrac{\log 50}{\log 9{\cdot}35} & = 1{\cdot}75 \end{array}\right\}$$

Por lo tanto, práktikamente,

$$Q = \left(\frac{H}{R}\right)^n, \text{ o bien } Q^n = \frac{H}{R}.$$

Al dar a $H$ balores 2, 5, 10, 50,... bezes mas grandes ke uno tomado komo komparazion, es klaro ke la rrelazion $\frac{H}{R}$ se altera proporzionalmente, puesto ke $R$, ya se a dicho, keda fijo. En konsekuenzia, el rresultado de esta imbestigazion parzial le indikaría ke las 'korrientes' o gastos eran proporzionales a $\left(\frac{H}{R}\right)^{4/7}$, i no a $\frac{H}{R}$ komo en el primer kaso, en ke las belozidades eran inferiores a las del punto krítiko.

Otro grado de aspereza podría darle para $n$, digamos el balor 2; otro todabía, un balor intermedio; etz. Si junto kon lo anterior tomaba en kuenta ke $H$ podía ser produzido no solo por la grabedad sino tambien por akzion mekánika, komo ser kompresion por medio de bombas, etz.; si, ademas, aberiguaba ke la rresistenzia del kondukto podía depender tambien de otras kausas ke no fuesen la mera rrugosidad de la superfizie interna; i si, por último, azía estensibo ese estudio a un

krezido número de kasos, i bajo las mas bariadas kondiziones, tendría rreunido entonzes, el supuesto obserbador, bastantes elementos para formular, komo segunda konklusion, la sigiente lei empírika:—

"En un estado de korriente kontinua del agua en un kondukto, el gasto o derrame es proporzional a la potenzia $\frac{1}{n}$ (entre $\frac{10}{17}$ i $\frac{10}{21}$, segun los kasos) de la pérdida total de karga, dibidida por la potenzia $\frac{1}{n}$ de la suma de todas las rresistenzias ke ofrezka el kondukto."

Lo ke simbólikamente puede rrepresentarse por (42), (43) o (44), espresiones a ke se llegó por otro kamino en el artíkulo anterior.

**26. Konsiderazziones sobre la anterior dedukzion.**—La fórmula de Ohm, $C = \frac{E}{R}$, sobre la kual emos basado la korrespondiente al agua ke zirkula en una kañería, no es ebidente por sí misma: es una fórmula empírika. Bien es zierto ke, aun akellas tenidas por ebidentes, por basarse en prinzipios de los llamados aksiomátikos, en último análisis i a la luz del kriterio zientífiko moderno, no pasan de ser tambien empírikas. Sea komo fuere, para todo propósito práktiko la antedicha fórmula puede konsiderarse komo rrigurosamente esakta, en birtud de ke los mas delikados esperimentos, llebados a kabo en las kondiziones mas bariadas, nunka an dejado de komprobar la lei ke ella espresa. Sería imposible establezer en absoluto, sin embargo, ke no puedan eksistir ziertas kondiziones del zirkuito, debido a las kuales la proporzionalidad direkta entre la F. E. M. i la korriente dejará de sub-

sistir, para dar lugar a una rrelazion de la forma $C^n = \frac{E}{R}$.

Lejos de eso, dize el Prof. Ayrton,* es todabía posible ke kon grandes korrientes, espezialmente si fluyen a trabés de konduktores mui anchos, llegará a deskubrirse una lijera falta de proporzionalidad entre la diferenzia de potenzial i la korriente, aun en el kaso ke esta sea absolutamente konstante i ke el konduktor se alle absolutamente a la misma temperatura, i bajo todo otro konzepto en la misma kondizion físika.

La rrelazion $C^n = \frac{E}{R}$ korrespondería a la ke rrije para el estado de mobimiento kontinuo del agua en un kondukto. Los kálkulos eléktrikos serían menos senzillos; pero el karákter de la fórmula no sería imbalidado, komo no lo es para las korrientes alternadas, en kuyo kaso el término rresistenzia es de naturaleza kompleja, dejando de ser una konstante, al rrebés de lo ke okurre en los zirkuitos de korriente kontinua.

Rrealmente, ambos fenómenos—la korriente eléktrika i la idráulika—se rregulan por el mismo prinzipio, kuando el mobimiento o belozidad media del agua no pasa del balor krítiko. Entonzes se tiene simplemente $Q = \frac{H}{R}$, fórmula ke talbez sería la mas adaptable a los zirkuitos de kalefakzion, en instalaziones de alta o baja presion, en bista de la mínima belozidad ke en tales kasos tiene el agua en los konduktos. Los esperimentos de Poiseuille sobre el mobimiento del agua en los tubos kapilares, demostraron a este imbestigador ke la

* *Practical Electricity*, bol. I, p. 172. Londres, 1896. (Cassell).

pérdida de presion o karga era direktamente proporzional a la belozidad, i, por konsigiente, al gasto, lo ke korresponde a la fórmula anterior. En los tubos *no* kapilares, i pasado el punto krítiko, sábese ya ke la pérdida es proporzional a una potenzia $n$ (de balor bariable) i no a la primera potenzia, lo ke debe atribuirse prinzipalmente a la formazion de rremolinos en la masa líkida en mobimiento, segun sea el grado de biskosidad de la misma.

**27 Obserbaziones sobre la belozidad.**— Apartándonos un tanto del método ortodojo de konsiderar la belozidad i no el gasto komo el elemento primordial del kálkulo, emos deskartado de todo lo ke prezede dicha nozion de belozidad. Mas bien dicho, no a sido tomada direktamente en konsiderazion, sino implízitamente, komo kiera ke no es sino uno de los faktores del gasto:—

$$Q = \tfrac{1}{4}\pi D^2 V.$$

De lo kual se desprende ke si en (38) se rreemplaza $Q$ por su balor ke prezede, i se efektuan las rredukziones, la ekuazion de la pérdida de karga rreferida a la belozidad keda—

$$H = \left(\frac{K}{D^m} L\right) V^n,$$

o, si se toma la unidad de lonjitud únikamente,—

$$J = \left(\frac{K}{D^m}\right) V^n \; \ldots\ldots\ldots \; (45).$$

El faktor entre paréntesis no es sino (40), la rresistenzia frikzional por unidad de lonjitud, multiplikada por la potenzia $n$ de la sekzion, supuesta uniforme, del kon-

dukto: $(\frac{1}{4}\pi D^2)^n$. De tal manera ke, si rrepresentamos este produkto por $r_s$, i $Lr_s$ por $R_s$, las ekuaziones (42), (43) i (44) pueden eskribirse:—

$$V^n = \frac{H}{R_s}, \text{ o bien } V = \left(\frac{J}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \ldots\ldots \quad (46);$$

$$H = R_s V^n, \quad ,, \quad J = r_s V^n \quad \ldots\ldots \quad (47);$$

$$R_s = \frac{H}{V^n}, \quad ,, \quad r_s = \frac{J}{V^n} \quad \ldots\ldots \quad (48).$$

A nuestro juizio, es preferible rreferir todo kálkulo (sea o no konzerniente a la belozidad) a la ekuazion fundamental (42). Lo ke prinzipalmente se persige al llebar el agua de un lugar a otro por medio de kaños, es obtener en la unidad de tiempo el máksimo de bolúmen, kon el mínimo de kosto i kon la menor pérdida posible de kaída. La idea de belozidad está mas bien asoziada a konsideraziones de karákter sekundario. Si una korriente demasiado lenta del agua o una mui rrápida no signifikasen—en un kanal, por ejemplo—eszeso de bejetazion parásita en el primer kaso, i deterioro de las paredes, en el segundo, la kuestion belozidad sería de pokísima importanzia en sí misma. Parezidas obserbaziones pueden aplikarse a las kañerías.

Por otra parte, rreferidos todos los kálkulos, segun se insinuó, a la fórmula del kaudal, se tiene de echo kualkier rresultado rrelatibo a la belozidad. Kon efekto, para un diámetro dado, una kantidad kualkiera de agua konduzida korresponderá siempre a zierta belozidad. Dezir ke el gasto por segundo de una kañería de 30 zentímetros (sekzion = 0·07068 m²), bajo una karga de

10 por mil es de 80 litros, p. e., es lo mismo de ablar de una belozidad de $\frac{0 \cdot 08}{0 \cdot 07068} = 1.^{m}13$ por segundo.

Se puede entonzes, en rrigor, preszindir en la jeneralidad de los kasos de las fórmulas espeziales (46), (47) i (48) sobre la belozidad, i emplear simplemente $Q^{n} = \frac{H}{R}$. En semejante kaso, para azer las rredukziones nezesarias, podría apelarse a una tabla kon los balores de las sekziones korrespondientes a los dibersos diámetros. La TABLA IV está kalkulada para serbir a este fin, i su empleo no rrekiere esplikazion alguna.

No obstante lo dicho, ademas de la TABLA II, kon los balores $r$ de la rresistenzia de frikzion por unidad de lonjitud, emos kalkulado la TABLA III, de la 'rresistenzia' $r_s$, korrespondiente a las fórmulas de la belozidad. En ambas tablas, kuyo argumento es el diámetro, para fazilitar aun mas los kálkulos, se an agregado los balores rreferentes a $r^{\frac{1}{n}}$ i $r_s^{\frac{1}{n}}$, así komo tambien los logaritmos rrespektibos.

## KAPÍTULO VI.

### *APLIKAZION DE LA FÓRMULA DEL ZIRKUITO IDRÁULIKO A LOS KÁLKULOS SOBRE EL GASTO, LA KARGA I LA RRESISTENZIA.*

**28. Obserbaziones jenerales.**—Para llegar a una simplifikazion de estruktura de las fórmulas, bastó agrupar en un solo término, o en una korta serie de términos sekundarios rrepresentados por *R*, toda kantidad o elemento numériko ke no fuera *Q* o *H*. Se bió en segida ke la simple fórmula fundamental $Q^n = \frac{Q}{R}$ así deduzida era ekibalente, en kuanto al tratamiento matemátiko, a la lei de Ohm sobre el zirkuito eléktriko, la kual a su bez, no es sino un kaso espezial de un prinzipio mas jeneral. Solo ke en elektrizidad no es nezesario para los kálkulos rreferirse a la diferenzia de potenzial por unidad de lonjitud. En idráulika tampoko es indispensable azer otro tanto; pero, komo la rrelazion indikada, al tratarse de largos konduktos o kañerías, ekibale a la rrelazion jeneral $\frac{H}{L} = J$, puede ser igualmente bentajoso a bezes eskribir $Q^n = \frac{J}{r}$, poniendo esta última frakzion en lugar de su ekibalente

$\frac{H}{R}$. Mas, desde el momento ke la kañería es korta kon rrespekto a su diámetro, otras kausas rretardatrizes, fuera de la de frikzion $Lr$, llegarán a ser apreziables, i entonzes $H$ no puede tomarse, sin error sensible, komo igual a $h_f$; o, si se kiere, $H$ no es ya igual a $LrQ^n$—la karga absorbida esklusibamente por el frotamiento—sino a dicha espresion, sumada kon dibersos términos sekundarios.*

Teniendo siempre en bista el propósito fijo de sistematizar en kuanto se pueda los kálkulos, adoptaremos en jeneral una diferenzia de notazion entre el rréjimen de gasto mayor, korrespondiente al de sekzion de salida totalmente abierta a la atmósfera, i el de kualkier otro grado intermedio del derrame. Para el primer kaso, empleamos de un modo uniforme komo balores korrelatibos $Q$ i $H$ o $J$; en kualkiera otra zirkunstanzia, es dezir de gasto parzial, la notazion será korrelativamente $q$ i $h$ o $j$.

Solamente ai una kondizion de gasto total o máksimo, i okurre, segun se akaba de insinuar, kuando la estremidad de eflujo no tiene obstrukzion de ninguna espezie: en un kaso komo este, la pérdida de karga por

* Debe tenerse presente ke en la fórmula fundamental $Q^n = \frac{H}{R}$, el numerador del segundo miembro rrepresenta, de un modo jeneral, la karga *rrealmente absorbida o destruida* (i no la karga total disponible), para mantener un gasto dado a trabés de las dibersas kausas rretardatrizes o rresistentes de kondukto. Por konsigiente, a un gasto parzial $q$, kualkiera, komprendido entre zero i $Q$, korresponde komo numerador (karga absorbida o pérdida de karga) solo una frakzion de la karga total disponible $H$: esta frakzion ke, al tratar en otro kapítulo de los kálkulos sobre la potenzia designamos por $h_p$, es la suma de las pérdidas parziales $h_e$, $h_f$ i $h_k$ (§ 7, p. 14).

las dibersas kausas ke antes se han señalado, es tambien total, e igual por konsigiente a $H$. La única salbedad ke al rrespekto kabe azer es ke, si bien la presion idrostátika kae a zero a la salida del kondukto, en rrealidad se rrekupera una pekeña frakzion de $H$ en la forma de presion idrodinámika: $\frac{V^2}{2g} = h_v$ (§ 7).

Las mismas konsiderazìones fundamentales subsisten sin rrestrikzion al emplear la fórmula simplifikada $Q^n = \frac{H}{R}$. En esta debe entenderse ke la unidad de $Q$ es el metro kúbiko, puesto ke $L$ i $D$ (komprendidos en $R$) se espresan en metros lineales. Kon rreferenzia a $H$, kombiene rrepetir ke, si bien se espresa por abrebiazion en 'metros,' no es en rrealidad de la dimension de una lonjitud $[L]$ sino de un potenzial $[L^2T^{-2}]$. Por manera ke, azeptada esta interpretazion, al tratar mas adelante de los kálkulos sobre la potenzia, $Q$ no será konsiderado de la dimension de un bolúmen $[L^3]$, ni de una fuerza $[MLT^{-2}]$, sino simplemente de masa $[M]$ (§ 56). En tal kaso la enerjía o kapazidad de produzir trabajo de kada molékula de agua sería el produkto de esta pekeña masa por su potenzial de grabitazion, o sea por su altura, espresada en metros, sobre un plano orizontal de rreferenzia. En el presente kapítulo, $Q$ no nezesita ser konsiderado sino komo bolúmen espresado en m$^3$, segun akaba de dezirse, o bien litros si $L$ i $D$ se toman en dezímetros en bez de metros.

Por lo ke toka al término $R$, limitándonos para mayor klaridad a la rresistenzia de frotamiento, su balor numériko no es sino el de la rrelazion $\frac{H}{Q^n}$ (44), i será igual

a la unidad kuando $H$ i $Q$ sean simultáneamente la unidad rrespektiba. Sabemos ademas ke para un kondukto zilíndriko se espresa en la forma (40) por metro lonjitudinal, i ke la serie de balores korrespondientes a los dibersos diámetros usados en la práktika puede kalkularse una bez por todas, para dibersos grados de aspereza interna de los kaños. La rresistenzia de un kondukto puede tambien definirse en funzion de la potenzia, segun se berá en el KAPÍTULO VII, diziendo ke es la potenzia nezesaria para mantener la unidad de korriente (1 $m^3$) en dicho kondukto. No es indispensable la nozion de unidad práktika de rresistenzia frikzional;* pero, si se kiere tener azerka de ella una idea konkreta, ai ke asimilarla a la nozion de zierta lonjitud de kaño de un diámetro dado, segun se esplika en segida.

**29. Obserbaziones sobre la TABLA II.**— Para mejor prezisar el punto anterior, kombiene eksaminar la TABLA II en las partes en ke se konfunden, o kasi se konfunden, los balores de $r$ kon los de $r^{\frac{1}{n}}$: un metro de kaño del diámetro korrespondiente ekibaldría a la unidad práktika de rresistenzia, para el grado, de rrugosidad rrelatiba ke se intenta espresar kon la fórmula adoptada.

Por ejemplo, dicha tabla demuestra ke, para el grado de aspereza korrespondiente a $n = 1{\cdot}8$, el diámetro ke korresponde a la unidad de rresistenzia en la unidad de

* Tampoko en elektrizidad es indispensable para los kálkulos una unidad espezial de rresistenzia, komo el ohm. La idea de un konduktor eléktriko de tantos ohms de rresistenzia puede espresarse perfektamente diziendo ke es un konduktor de tantos *volts por ampere*, o, empleando la rrezíproka de la rresistenzia, ke es de tantos *amperes por volt*.

lonjitud, debe ser lijeramente superior a 240 mm; para $n = 1{\cdot}85$, komo de 260 mm; para $n = 1{\cdot}9$, de 280 mm; para $n = 1{\cdot}95$, de 300 mm; i para $n = 2$, de 320 mm.

En este i mas de otro sentido la tabla es mui sujestiba. Un rrápido eksámen de ella permite ber, *v. gr.*, ke la mayor diferenzia de rresultados debida a kondizion interna de los kaños, alkanza komo a 30% para los diámetros medianos (tomando komo tales los ke akaban de indikarse); un poko menos para los diámetros pekeños; i algo mas para los grandes diámetros.

Ejemplo de otra aplikazion: se desea saber aproksimadamente, sin prebio kálkulo, ke diámetro debe tener una kañería nueba mui lisa (klasifikable bajo la Fórm. I), para kon la misma karga dar doble gasto ke una kañería de 75 mm algo inkrustada (klasifikable digamos bajo la Fórm. V). Para rresolber la kuestion, basta buskar en la kolumna de balores de $r^{\frac{1}{n}}$, Fórm. I, ke balor de $D$ korresponde sensiblemente a la mitad de 39·725, balor de $r^{\frac{1}{n}}$, Fórm. V.—Allamos ke $D = 80$ mm.

Del mismo modo puede prozederse rrespekto de barias kuestiones análogas, sobre kuya soluzion no es posible tener idea sikiera aproksimada sin rrekurrir a algun kálkulo mas o menos inkómodo.

### I.—KASO DE LAS KAÑERÍAS LARGAS.

**30. Kálkulo del gasto.**—Eliminada toda kausa de pérdida ke no sea la frikzion, en birtud de ser kualkiera de ellas komparatibamente nula, se a bisto ke la fórmula jeneral konsta solo de tres términos ligados por la rrelazion fundamental (42). Para fazilitar su

aplikazion direkta podemos eskribir la ekuazion en estas dibersas formas:—

$$Q^n = \frac{H}{Lr} = \frac{J}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (A).$$

$$Q = \left(\frac{H}{Lr}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{J}{r}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (B).$$

Konozidos dos de los términos, es fázil determinar el otro. Sea este, para empezar, el rreferente al gasto.

EJEMPLO 1.—*Determinar el mayor gasto Q de una kañería de 23 kilómetros de largo, 0.ᵐ200 de diámetro, i de una kaída total H, de 260 metros. Se adbierte ke los kaños son de fierro fundido i, se supone, lijeramente inkrustados komo son los en uso korriente.*

Segun el enunziado, la Fórm. III sería la mas adaptable (§ 18) a la kondizion de los kaños. Por konsigiente, segun la TABLA II, para $D = 0.^{m}200$ se tiene $r = 5{\cdot}3618$ i su logaritmo 0·72931.

Rreemplazando en (B) las letras por sus balores, se tiene

$$Q = \left(\frac{260}{23000 \times 5{\cdot}3618}\right)^{10/19}$$

Aunke el empleo de los logaritmos no presenta ninguna difikultad en estas fórmulas, rresolberemos algunos ejemplos detallando las operaziones:—

| | |
|---|---|
| Karga absorbida, $H = 260$. | 2·41497 |
| ÷ 23000............................... | 4·36173 |
| | $\bar{2}{\cdot}05324$ |
| ÷ 5·3618............................... | 0·72931 |
| | $\bar{3}{\cdot}32393 \times \frac{10}{19} = \bar{2}{\cdot}56154.$ |

∴ $Q = 0{\cdot}039$ m³, o sean 39 litros por segundo.

**Puesto ke $J = \dfrac{260}{23000} = 0{\cdot}0113$, la operazion es aun mas senzilla eskribiendo tambien segun (B), i tomando el balor de $r^{\frac{1}{n}}$ de la tabla korrespondiente,—**

$$Q = \frac{0{\cdot}0113^{10/19}}{2{\cdot}4202}.$$

**Efektuando las operaziones:—**

| | |
|---|---|
| $\frac{10}{19}$ log 0·0113 .................... | $\bar{2}{\cdot}97539$ |
| ÷ 2·4202 .......................... | 0·38385 |
| Log $Q$ ........................ | $\bar{2}{\cdot}59154$ |

**komo anteriormente.**

**Por bía de komparazion, e akí para el mismo ejemplo los rresultados rrespektibos de las fórmulas I–V:—**

| | | |
|---|---|---|
| Fórm. | I ........................... | 50 litros |
| „ | II ........................... | 44 „ |
| „ | III ........................... | 39 „ |
| „ | IV ........................... | 35 „ |
| „ | V ........................... | 31 „ |

**31. Kálkulo de la karga o pérdida de karga.**—De (A) o de la fórmula fundamental se saka—

$$H = LrQ^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (Z),$$

o bien,

$$J = rQ^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (D).$$

Así komo en el kaso anterior, no ai sino ke sustituir en kualkiera de estas fórmulas los balores konozidos, sobre la rresistenzia i el gasto, para tener $H$ o $J$.

EJEMPLO 2.—*Kon una bieja kañería, bastante inkrustada, de 30 zentímetros de diámetro, se obtiene un kaudal*

***de 60 litros por segundo, kuando la pérdida de karga por unidad de lonjitud es total, o igual a J. Esta kondizion korresponde, por lo tanto, a una presion idrostátika zero en el estremo de salida.—Se pregunta, ke presion se tendrá en el mismo punto, al kambiar la kañería, por otra nueba del mismo diámetro, dejando konstante el gasto antedicho.***

**Elijamos komo mas adekuada para el primer kaso la Fórm. V, i para el último la Fórm. II, la kual konkuerda sensiblemente kon la de Flamant para diámetros ke, komo el del ejemplo, podríamos llamar medianos.**

**Se tiene $r = 1{\cdot}541$ i $r_1 = 0{\cdot}507$ komo balores de las rresistenzias rrespektibas, de akuerdo kon la TABLA II.**

**Entonzes, segun (D),**

$$J = 1{\cdot}541 \times 0{\cdot}06^2 \quad = 0{\cdot}00554$$
$$j = 0{\cdot}507 \times 0{\cdot}06^{1.85} = 0{\cdot}00278$$

**Diferenzia..... 0·00276**

**Siendo *J* direktamente proporzional a *H*, se be al instante ke kon la kañería nueba, para un mismo gasto de 60 litros por segundo, la pérdida total de kaída sería únikamente el 50% de *H*. Por konsekuenzia, en el segundo kaso no solo se obtendría en la estremidad del kondukto la kantidad de agua estimada nezesaria para un uso kualkiera sino tambien una presion aprobechable para fuerza motriz, por ejemplo, igual a la mitad de la kaída total.**

**32. Kálkulos rrelatibos a la rresistenzia o al diámetro.**—La ekuazion de la rresistenzia total de frotamiento es—

$$Lr = \frac{H}{Q^n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(E)},$$

i, por lo tanto, la korrespondiente a la unidad de lonjitud,

$$r = \frac{J}{Q^n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(F)}.$$

Aplikemos esta fórmula a un kaso práktiko para deduzir el diámetro.

EJEMPLO 3.—*Kalkular el diámetro ke debe tener una kañería de planchas de fierro o de azero rremachadas, kapaz de konduzir 1200 litros por segundo a 6000 metros de distanzia, bajo una karga total de 48 'metros.'*

Este problema, komo todos los rrelatibos al diámetro se rreduze a determinar el balor korrespondiente de *r*. Obtenido este, o un balor ke se le aproksime, dedúzese mui fázilmente *D* por medio de la misma TABLA II usada asta akí.

Para el kaso presente, ateniéndonos a los datos sobre la naturaleza del kondukto, debe adoptarse la Fórm. V; o mejor, kizá, de akuerdo kon rresultados konozidos para kondiziones análogas (béase el ejemplo de la p. 35), la Fórm. IV.

Si $Q = 1{\cdot}200$, i $H = 48$.

$$\therefore R = \frac{48}{1{\cdot}2^{1{\cdot}95}}$$

Se tiene, por konsigiente, aplikando los logaritmos:—

| | |
|---|---|
| Karga absorbida, $H = 48$........... | 1·68124 |
| $\div\ 1{\cdot}2^{1{\cdot}95}$........................................ | 0·15440 |
| Rresistenzia total *Lr*.................. | 1 52684 |
| $\div$ 6000 ........................................ | 3·77815 |
| Rresistenzia *r* por metro............. | $\bar{3}{\cdot}74869 = 0{\cdot}0056064$. |

Este balor de *r* se alla komprendido (TABLA II, Fórm. IV) entre 0·004634, korrespondiente a $D = 0^{m}.900$, i 0·006149, korrespondiente a $D = 0^{m}.850$. El guarismo esakto obtenido por interpolazion o mediante el empleo de la fórmula (40), no tiene jeneralmente importanzia desde el punto de bista práktiko, en atenzion a ke en la industria se enkuentra solo un número limitado de diámetros

en uso. Esto okurre, sobre todo, rrespekto de los kaños de fierro fundido. Al presentarse un kaso komo el aktual, basta kon atenerse al tamaño mas próksimo (sobre el indikado por el kálkulo) rresultante, por ejemplo, del obligado empleo en la fabrikazion, de planchas de dimensiones determinadas.

Aora, si por kualkier motibo no tubieran kabida estas konsideraziones, podría entonzes apelarse al método gráfico, o a la fórmula (49) del diámetro deduzida de la de $r$. El primer método dará rresultados práktikamente tan esaktos komo el segundo, pero en mas brebe tiempo i kon mayor 'ekonomía de pensamiento.'

Tómese al efekto en papel kuadrikulado, en línea orizontal, una serie de puntos ke korrespondan komo distanzia desde un punto zero (ke no nezesita estar en el papel), a las balores de los diámetros, digamos para este ejemplo,—

0·800 0·850 0·900 0·950

Komo ordenadas sobre estos puntos, tómense distanzias proporzionales a los balores korrelatibos de $r$, a saber—

0·0083 0·0061 0·0046 0·0035

Uniendo estos últimos puntos por una kurba, se allará ke la ordenada de balor $r = 0·0056$ (el mismo obtenido mas atras), korresponde al balor $D = 0·866$.

En papel milimétriko, toda la operazion se efektúa en menos tiempo ke el gastado en deskribirla.

**33. Ekuazion del diámetro.**—La ekuazion del diámetro, en términos de la rresistenzia se obtiene despejando a $D$ en (40):—

$$D = \left(\frac{K}{0·7854^n r}\right)^{\frac{1}{2n+m}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (49).$$

Para el ejemplo ke prezede, se tendrá entonzes—

$$D = \left(\frac{0{\cdot}001717}{0{\cdot}7854^{1{\cdot}96} \times 0{\cdot}0056}\right)^{\frac{100}{495}} = 0.^{m}866.$$

Segun puede juzgarse, este segundo prozedimiento es mas largo ke el gráfiko i eksije el empleo de logaritmos. Por eso, no solo en el kaso aktual sino en barios otros ke se presentarán despues, el método gráfiko es mas espedito ke el analítiko; aun mas, es el úniko ke pueda usarse de preferenzia al kálkulo de aproksimaziones suzesibas, kuando la soluzion analítika es deskonozida o komplikada.

**34. Empleo de la TABLA III i de las fórmulas aplikables a la belozidad.**—A pesar de lo dicho sobre ke los problemas en ke figure el dato de la belozidad pueden rresolberse por medio de la fórmula jeneral, teniendo en kuenta ke $V$ es un faktor de $Q$, puede aber kasos, no obstante, en ke sea bentajoso usar la fórmula partikular sobre la belozidad.

La TABLA III a sido kalkulada para fazilitar el uso de la fórmula (46)—

$$V^n = \frac{H}{R_s},$$

o, lo ke es igual—

$$V = \left(\frac{J}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}.$$

Damos en segida algunos ejemplos sobre su aplikazion.

EJEMPLO 4.—*Determinar, segun Fórm. III, la belozidad $V$ del agua en una kañería de 20 zentímetros de diámetro, kolokada kon una gradiente media $J = 0\ 0113$.*

No ai mas ke rreemplazar en (46) los términos konozidos por sus balores, i estraer de ambos miembros la rraíz korrespondiente a la fórmula elejida;

$$\therefore V=\left(\frac{0\cdot0113}{0\cdot00748}\right)^{10/19}.$$

La operazion indikada se rresuelbe por logaritmos komo en los otros ejemplos:—

| | | |
|---|---|---|
| $\frac{10}{19}$ log | 0·0113................. | $\bar{2}$·97539 |
| Menos $\frac{10}{19}$ ,, | 0 00748............... | $\bar{2}$·88098 |
| | | 0·09441 |

lo ke korresponde a $V=1^m.243$ por segundo.

Komo, segun el enunziado, las kondiziones de este problema son las mismas de la kañería konsiderada en el Ejemplo 1, se sige ke al anterior rresultado puede llegarse simplemente dibidiendo el balor de $Q(=0\cdot039)$ por la sekzion de la kañería $(=0\cdot0314)$;

$$\therefore V=\frac{39}{31\cdot4}=1^m.243,$$

komo mas arriba.

La TABLA IV sirbe para simplifikar los kálkulos análogos al prezedente. En ella se espresan, para diferentes diámetros, los gastos en $m^3$ por segundo, ke ekibalen a la belozidad de un metro por segundo. Por lo tanto esos mismos balores espresan tambien, en $m^2$, las sekziones korrespondientes a los dibersos diámetros.

EJEMPLO 5.—*Aberiguar a ke inklinazion de la gradiente idráulika korresponde una belozidad media de 2 metros por segundo, en una kañería de fierro fundido de $0^m.700$ de diámetro. Se supone ke los kaños, sin ser nuebos, solo están rrekubiertos de un lijero depósito.*

Para este kaso podemos konsiderar la kondizion de la superfizie interna de los kaños komo ekibalente a la rrugosidad media, a la ke es aplikable la Fórm. III.

Segun la ekuazion (47), $J = r_s V^n$; rreemplazando en esta espresion $r_s$ (segun TABLA III), $V$ i $n$, por sus rrespektibos balores obtenemos

$$J = 0{\cdot}001885 \times 2^{1{\cdot}9} = 0{\cdot}007.$$

La inklinazion de la gradiente idráulika debe ser, pues, de 7 por mil, para ke la belozidad media alkanze a 2 m. por segundo.

II.—KASO ESPEZIAL DE LAS KAÑERÍAS KORTAS.

**35. Subdibision de R en la fórmula jeneral.**—Antes de entrar en los ejemplos ke prezeden, se prebino ke se aría kaso omiso de toda kausa de rresistenzia ke no fuese la de frikzion. En las kañerías designadas komo largas, la pérdida por kontrakzion de entrada, la influenzia de las kurbas, etz., se dijo eran nulas o demasiado insignifikantes para tomarlas en konsiderazion, al lado de $Lr$. Pongámonos aora en la situazion de ke toda kausa sekundaria de absorzion de enerjía, entre las kuales se inkluyó la belozidad misma —por mas ke la absorzion o pérdida en este kaso sea solo aparente—konkurran kuando $L$ i $r$ sean rrelatibamente pekeños. Entonzes la fórmula jeneral kompleta sería, tomando para $R$ la subdibision (41) ke se indika en el § 23,

$$Q^n = \frac{H}{Lr + r_v + r_e + \ldots} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (50).$$

**36. Doble interpretazion ke puede darse para el kálkulo a la enerjía kinétika del agua.**—En la fórmula (A), $r$ nos es numérika-

mente konozida, segun la TABLA II, para 49 dibersos diámetros i 5 grados de rrugosidad o kondizion de aspereza de la superfizie interna de los kaños. Si no se trata de la gama espezial I–V, adoptada en este libro komo sufiziente en la práktika, $r$ deberá entonzes kalkularse por la fórmula (40).

Komo uno de los términos sekundarios en ke puede subdibidirse $R$, se tiene en segida $r_v$, determinada por $h_v = \frac{V^2}{2g}$ (§ 7). La belozidad del agua en los kaños no es, ziertamente, una rresistenzia en el sentido físiko de la palabra, sino en el sentido aritmétiko de ekibaler a la rrezíproka de una konduktanzia, si se nos permite esta espresion de la terminolojía eléktrika. En tal karákter puede así entrar perfektamente, para los kálkulos, komo término sumando del denominador de $H$.

Adoptando aora otra interpretazion: sabemos de un modo jeneral ke $h = \frac{V^2}{2g}$; aplikada esta rrelazion al mobimiento de agua en los kaños, rresulta ke a zierta belozidad en metros por segundo korresponde zierta frakzion de $H$, en 'metros,' ke no es absorbida por el frotamiento ni kausa alguna rretardatriz, sino en produzir la misma belozidad. De manera ke $r_v$, en bez de figurar en el denominador komo sumando, i kon la forma de una rresistenzia, podría figurar en el numerador komo sustraendo, i en la forma de karga, presion o de kualkier modo ke designamos a $H$.

A fin de mantener la uniformidad de los kálkulos adoptaremos la primera interpretazion. Para espresar, entonzes, a $\frac{V^2}{2g}$ en funzion del gasto, ai ke rreemplazar

a $V$ por su balor $\frac{Q}{0{\cdot}7854D^2}$; ademas, si se adopta desde luego el valor 9·8 para $g$, komo sufizientemente aproksimado para nuestras latitudes, se llega a la ekuazion—

$$h_v = 0{\cdot}0827 \frac{Q^2}{D^4} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (51).$$

Keda por rreduzir el segundo miembro de esta ekuazion a la forma de una rresistenzia, para lo kual basta tener presente ke, en jeneral, $R = \frac{H}{Q^n}$.

Sustituyendo $R$ i $H$ por sus balores rrespektibos $r_v$ i $h_v$, para este kaso partikular, se tiene entonzes—

$$r_v = 0{\cdot}0827 \frac{Q^{2-n}}{D^4} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (52).$$

**37. Rresistenzia por la kontrakzion de entrada.**—Por último, limitada la subdibision de la rresistenzia total $R$ a los tres términos ke indika la ekuazion (41), rresta por konsiderar la ekibalenzia de $r_e$.

De akuerdo kon los rresultados de la imbestigazion esperimental, se azepta ke la pérdida de karga por kontrakzion de la bena a la entrada del kondukto tiene, en las mas faborables kondiziones, un balor rrelatibo a lo menos de 0·08 $\frac{V^2}{2g}$; o, en funzion de gasto, komo akabamos de berlo para $h_v$, el balor korrespondiente de $h_v = 0{\cdot}0066 \frac{Q^2}{D^4}$.

Rreduziendo esta espresion a la forma de rresistenzia, se obtiene de una manera análoga el kaso de (52)—

$$r_e = 0{\cdot}0066 \frac{Q^{2-n}}{D^4} \quad \dots\dots\dots\dots \quad (53).$$

**38. Fórmula kompleta.**—La suma de los balores (52) i (53) es $0{\cdot}089\,\frac{Q^{2-n}}{D^4}$. Por konsigiente, si en (41) la sustituimos a $r_v + r_e$, la fórmula del gasto ke toma en konsiderazion, a mas del rrozamiento, las otras kausas prinzipales ke pueden absorber zierta frakzion de $H$, se kombierte en—

$$Q^n = \frac{H}{\left(Lr + 0{\cdot}089\,\frac{Q^{2-n}}{D^4}\right)}$$

Para rresolber esta ekuazion kon rrespekto a $Q$, ai ke ponerla en la forma

$$LrQ^n + \frac{0{\cdot}089}{D^4}\,Q^2 - H = 0 \;\ldots\ldots\; (54).$$

Komo, para todo balor de $n$ ke no sea 2, no es suszeptible de soluzion analítika, ai ke rresolberla por el método de aproksimaziones suzesibas o, mejor aun, gráfikamente segun se esplika en el ejemplo 7 de mas adelante.

**39. Fórmula kompleta para el kaso de n = 2.**—Si el índize $n$ es 2, komo por ejemplo en la Fórm. V, el kaso es entonzes mucho mas senzillo, pues despejando en (54) a $Q$, se obtiene simplemente—

$$Q = \left[\frac{H}{\left(Lr + \frac{0{\cdot}089}{D^4}\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \;\ldots\ldots\; (55).$$

Un rrápido eksámen de esta fórmula permite komprender mas fázilmente todabía ke la (54), ke mientras menor sea $L$ rrespekto de $H$ i de $D$, mayor influenzia

ejerzerá sobre el rresultado el término $\frac{0{\cdot}089}{D^4}$, no tomado en kuenta para los kálkulos rreferentes a las kañerías largas.

Las espresiones rrelatibas i un tanto bagas de 'kañerías largas' i 'kañerías kortas' se aklararán mucho, kon la aplikazion de las fórmulas ke antezeden a algunos ejemplos. (§ 41).

**40. Obserbaziones sobre la dedukzion de las fórmulas anteriores.**—Los rresultados (54) i (55) pueden tambien deduzirse de la fórmula fundamental sobre el mobimiento del agua en los konduktos zilíndrikos, ke en los tratados de idráulika se da kon el karákter de kompleta, a saber:—

$$H = \left(\lambda \frac{L}{D} + \xi + 1\right) \frac{V^2}{2g} \quad \ldots\ldots \quad (56).$$

En esta fórmula,—

$\frac{V^2}{2g}$ rrepresenta la parte de la altura de karga perdida en komunikar el agua la belozidad inizial $V$;

$\xi \frac{V^2}{2g}$, la pérdida de karga rresultante de la kontrakzion del agua en el kondukto, siendo $\xi$ igual a 0·08 para las embokaduras bien konformadas; i

$\lambda \frac{V^2}{2g}$, la pérdida de karga debida al rrozamiento.

Rreemplazando $V$, komo lo izimos antes, por su balor en funzion del gasto, i $g$ por el suyo en metros, i dejando afuera del paréntesis solo a $Q^2$, se obtiene kon la rredukzion a tres términos:—





$$H=\left(\frac{\lambda L}{12D^5}+\frac{0{\cdot}08}{12D^4}+\frac{1}{12D^4}\right)Q^2.$$

El primer término del paréntesis es el koefiziente de frikzion total, ke puede rrepresentarse segun nuestra notazion por $Lr$; el segundo i terzero suman un solo término, $\frac{0{\cdot}089}{D^4}$. Por lo tanto, se llega a la ekuazion—

$$Q=\left[\frac{H}{\left(Lr+\frac{0{\cdot}089}{D^4}\right)}\right]^{\frac{1}{2}},$$

idéntika a la (55), subordinada a la triple nozion de gasto, karga i rresistenzia. Así mismo, abríase llegado a la (54) konsiderando en jeneral el esponente de $Q$ igual a $n$.

Se akostumbra espresar las otras kausas sekundarias de pérdida de karga, komo ser kurbas, kambios bruskos de sekzion, etz., por el término $\frac{V^2}{2g}$ multiplikado en kada kaso por un koefiziente determinado esperimentalmente. Los balores numérikos de esos koefizientes se deben prinzipalmente a los trabajos de Weisbach, i se enkuentran konsignados en los tratados i karteras espeziales. Debemos rrekordar, únikamente ke para rreduzir la espresion kompleta a la forma de subtérmino de $R$, ai ke dibidir $\frac{Q^2}{12D^4}\left(=\frac{V^2}{2g}\right)$ por $Q^n$, de tal manera ke si se rrepresenta, en jeneral, el koefiziente numériko por $k$, i por $r_o$ el subtérmino, se tiene—

$$r_o=k\frac{Q^{2-n}}{12D^4}\qquad\ldots\ldots\ldots\ldots\ (57)$$

o, simplemente—

$$r_o = \frac{k}{12 D^4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (58)$$

si el índize de la fórmula es 2.

**41. Ejemplos de kálkulos sobre kañerías kortas.**—Tomaremos primeramente el kaso mas senzillo, es dezir el de una fórmula kon esponente 2, komo ser la Fórm. V o la de Darcy.

EJEMPLO 6.—*Komparar los gastos rrespektibos, bajo una misma karga inizial de 10 metros, de 3 kañerías de igual rrugosidad i del mismo diámetro $D=0^m.250$, siendo la lonjitud de la primera 10 metros, de la segunda 100, i de la terzera 3000. Komparar, ademas, los rresultados en kada kaso, kon los ke arrojaría la fórmula inkompleta, ke toma en kuenta solo la rresistenzia frikzional.*

Adoptemos para este ejemplo la fórmula de Darcy, N.° 1. El balor de la rresistenzia por unidad de lonjitud, es la suma de los dos términos entre paréntesis de dicha fórmula (28). Entonzes, para $D=0^m.250$ rresulta $r=1{\cdot}854$.

Se tiene así, segun (55):—

$$Q_1 = \left(\frac{10}{10\times 1{\cdot}854+23}\right)^{\frac{1}{2}} = 419 \text{ litros.}$$

$$Q_2 = \left(\frac{10}{100\times 1{\cdot}854+23}\right)^{\frac{1}{2}} = 219 \quad ,,$$

$$Q_3 = \left(\frac{10}{3000\times 1{\cdot}854+23}\right)^{\frac{1}{2}} = 42 \quad ,,$$

Empleando, aora, la misma fórmula, pero inkompleta, esto es sin inkluir los subtérminos $r_v + r_e$ ($=23$ para el kaso presente), los rrespektibos rresultados son, en bez de los anteriores:—

$$Q_1 = \left(\frac{10}{10\times 1{\cdot}854}\right)^{\frac{1}{2}} = 734 \text{ litros.}$$

$$Q_2 = \left(\frac{10}{100 \times 1{\cdot}854}\right)^{\frac{1}{2}} = 232 \text{ litros.}$$

$$Q_3 = \left(\frac{10}{3000 \times 1{\cdot}854}\right)^{\frac{1}{2}} = 42 \quad ,,$$

Puede berse ke, ya desde el balor $L=400$ diámetros, la kañería empieza ser rrelatibamente korta, i ai error sensible en el rresultado al adoptar la fórmula inkompleta. Este error ba aziéndose mayor a medida que la lonjitud $L$ disminuye rrespekto de $D$, a tal punto ke en lugar de los 491 litros, rresultado mas probable anotado mas arriba, se llega para el kaso rrespektibo, kon la segunda fórmula, o sea la inkompleta, a un gasto 40% en eszeso.

Por otra parte, puede obserbarse tambien ke para $L=12\,000$ diámetros, o sean 3 000 metros, el gasto obtenido es el mismo, o sensiblemente el mismo, empleando la fórmula kompleta o la inkompleta.

Es interesante, al rrespekto ke nos okupa, komparar los rresultados de la TABLA I, espezialmente los rrelatibos a grandes diámetros i grandes pendientes, kon los mas probablemente berdaderos, ke se obtendrían prozediendo segun keda esplikado.

EJEMPLO 7.—*Kalkular el gasto de un tubo de fierro, nuebo i de superfizie mui lisa, siendo su lonjitud 10 metros i su diámetro 10 zentímetros. Kolokado bertikalmente, su estremidad superior arranka del fondo de un estante ke tiene un metro konstante de altura de agua. Komparar, ademas, el rresultado obtenido, kon el de la fórmula inkompleta.*

Adoptaremos la Fórm. I komo la mas apropiada, de akuerdo kon los datos suministrados sobre la kondizion de la superfizie interna del tubo.

Segun (54) se tiene entonzes—

$$(10 \times 68{\cdot}224)\, Q^{1{\cdot}8} + \frac{0{\cdot}089}{0{\cdot}1^4}\, Q^2 - 11 = 0.$$

Ai dos maneras de allar el balor de $Q$:—por aproksimaziones suzesibas, o por medio de una konstrukzion gráfika. Komo en todos los problemas en ke se llega a ekuaziones análogas es nezesario usar uno u otro de esos métodos, trataremos por ambos, i en detalle, el presente ejemplo.

Para prozeder por aproksimaziones, basémonos en el rresultado ke se obtiene kon un kálkulo prebio, en el supuesto de ke $Q$ tubiese el índize 2, en los dos términos en ke figura: ese rresultado es de 83 litros.

Tomemos, por ejemplo, komo primer balor aproksimado $Q = 73$ litros:—

$$\therefore 10 \times 68 \cdot 224 \times 0 \cdot 073^{1 \cdot 8} + 890 \times 0 \cdot 073^2 - 11 = -0 \cdot 121.$$

Tomemos, aora, komo segundo balor aproksimado $Q = 74$ litros:—

$$\therefore 10 \times 68 \cdot 224 \times 0 \cdot 074^{1 \cdot 8} + 890 \times 0 \cdot 074^2 - 11 = +0 \cdot 106.$$

Por konsekuenzia, el gasto puede tomarse—kon el grado de aproksimazion ke es dable eksijir en materia de kálkulos idráulikos—komo komprendido entre 73 i 74 litros.

Supongamos ke, por bía de simplifikazion ubiéramos puesto $Q^{1 \cdot 8}$ en ambos términos. Se abría tenido entonzes $Q = \left(\frac{11}{1572}\right)^{\frac{5}{9}} = 63$ litros, rresultado demasiado bajo, rrespekto del mas probable ke se akaba de konsignar, así komo el de 83 litros tenía ke ser *a priori* demasiado alto.

Para la segunda forma de soluzion, sin duda mas kombeniente, puede prozederse komo sige:—

En

$$(10 \times 68 \cdot 224)\, Q^{1 \cdot 8} + 890\, Q^2 - 11 = 0,$$

denotemos el primer miembro por $f(Q)$. Kalkulemos en segida algunos balores de esta funzion, sin preokuparnos de ke alguno de ellos aga prezisamente $f(Q) = 0$, por ejemplo:—

| $Q$ | $f(Q)$ |
|---|---|
| 0·060 | −3·48 |
| 0·070 | −0·95 |
| 0·080 | +1·93 |
| 0·090 | +5·15 |

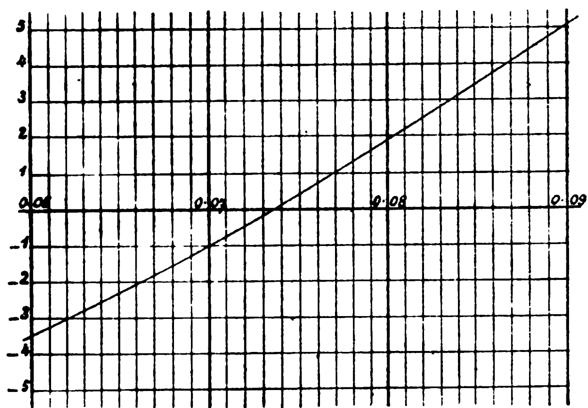



Fig. 5.—Ejemplo de soluzion gráfika de la ekuazion (54).

Tomando sobre papel kuadrikulado estos balores de $Q$ komo abzisas, i los korrespondientes de $f(Q)$ komo ordenadas, se allará gráfikamente (Fig. 5) ke el balor partikular de $Q$ ke aze $f(Q)=0$, es prezisamente el de 0·0735.

III.—KAÑERÍAS DIBERSAS UNIDAS EN SERIE.

**42. Subdibision de los kasos ke pueden presentarse en la práktika.**—La kuestion puede subdibidirse en dos kasos jenerales, a saber:—

1) Los barios trozos de kañería unidos entre sí son desiguales kon rrespekto al diámetro, pero omojéneos (o ke pueden konsiderarse komo tales) rrespekto del koefiziente de rrugosidad;

2) Los trozos son desiguales en kuanto al diámetro i en kuanto a la kondizion de la superfizie interna.

**43. Aplikazion de la rregla de Dupuit al primer kaso. Objeziones.**—Se demuestra en los tratados de idráulika, rrespekto de este primer kaso, ke una kañería kompuesta de trozos suzesibos de dibersos diámetros puede ser sustituida, en kuanto a su kapazidad konduktora, por una simple kañería ekibalente, de diámetro uniforme $D$, i de una lonjitud—

$$L = D^5\left(\frac{l_1}{d_1} + \frac{l_2}{d_2} + \frac{l_3}{d_3} + \cdots\right) \quad \ldots\ldots (59).$$

Es esta la llamada rregla de Dupuit, en la kual, segun puede berse, se aze abstrakzion de las pekeñas pérdidas de karga probenientes de los kambios mas o menos bruskos entre sekzion i sekzion. Dichas pérdidas, por otra parte, son komparatibamente nulas si los trozos no son mui kortos kon rrelazion a su diámetro, i si el kambio de un diámetro a otro se efektúa de una manera gradual, segun se prokura en la práktika.

Llama la atenzion ke se konsigne la rregla antedicha, aun por Flamant autor de una fórmula de esponente frakzionario, sin adbertir ke akella, tal kual keda traskrita, no puede ser aplikable, sin inkurrir en error manifiesto, sino a las fórmulas de índize $n = 2$.

Komparemos, a este efekto, los rresultados de su aplikazion tomando para el kálkulo del gasto, por ejemplo, la fórmula de Colombo (§ 14), kuyo índize es 2, i la de Flamant (§ 16), kuyo índize es $n = 1.75$.

Sean (Fig. 6) los trozos konsekutibos:—

a, 1$^{er}$ trozo, de $l_1 =$ 10 000 m, i $d_1 = 0^m.400$;
b, 2° „ „ $l_2 =$ 5 000 m, i $d_2 = 0^m.300$;
z, 3$^{er}$ „ „ $l_3 =$ 2 000 m, i $d_3 = 0^m.200$;
d, 4° „ „ $l_4 =$ 1 000 m, i $d_4 = 0^m.100$.

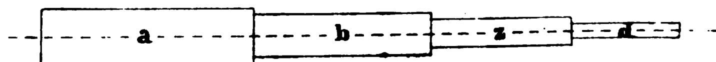



Fig. 6.

Se supone ke la karga total inizial, $H$, es de 100 'metros'; por lo tanto $J = 0{\cdot}00555$, siendo $L = 18\,000$, metros.

Si adoptamos komo diámetro uniforme $D = 0^m.400$, entonzes el largo rreduzido, segun (59) será—

$$L = 0{\cdot}400^5\left(\frac{10\,000}{0{\cdot}400^5} + \frac{5\,000}{0{\cdot}300^5} + \frac{2\,000}{0{\cdot}200^5} + \frac{1\,000}{0{\cdot}100^5}\right).$$

Efektuados los kálkulos, se tiene $L = 1\,119\,000$ metros komo lonjitud ke debe tener una kañería de diámetro uniforme $D = 0^m.400$, ekibalente a la kompuesta de las dibersas sekziones enumeradas.

Espresando la fórmula de Colombo por medio de los tres términos jenerales $Q$, $H$ i $R$, se obtiene komo balor del gasto en las ipotétikas kondiziones antedichas—

$$Q = \left[\frac{100}{\left(\frac{0{\cdot}00243}{0{\cdot}4005}\right)1\,119\,000}\right]^{\frac{1}{2}} = 19{\cdot}4 \text{ litros.}$$

Si, kon el objeto de komprobar, se elije komo diámetro uniforme $D = 0^m.100$, se tiene—

$$L = 0{\cdot}100^5\left(\frac{10\,000}{0{\cdot}400^5} + \frac{5\,000}{0{\cdot}300^5} + \frac{2\,000}{0{\cdot}200^5} + \frac{1\,000}{0{\cdot}100^5}\right),$$

o sean 1 093 metros.

De akí se deduze—

$$Q = \left[\frac{100}{\left(\frac{0{\cdot}00243}{0{\cdot}100^5}\right)1\,093}\right]^{\frac{1}{2}} = 19{\cdot}4 \text{ litros.}$$

komo anteriormente.

Al mismo rresultado de 19·4 litros se llegará adoptando kualkier otro diámetro, siempre ke se emplee la misma fórmula. Si la fórmula, aunke de índize $n = 2$, tiene otro koefiziente, entonzes el rresultado puede ser *superior* o *inferior* al gasto indikado de 19·4 litros; pero siempre el balor de $Q$ será *el mismo* para dibersos diámetros adoptados.

Beamos lo ke suzede empleando la rregla orijinal de Dupuit, kon una fórmula de esponente frakzionario, por ejemplo la de Flamant.

Sea $D = 0^m.400$ el diámetro elejido komo uniforme. Kedando konstante las otras kondiziones, la aplikazion de dicha rregla da tambien komo lonjitud rreduzida, $L = 1\,119\,000$. Aplikando la fórmula de Flamant se obtiene—

$$Q = \left[\frac{100}{\left(\frac{0{\cdot}0014}{0{\cdot}400^{4{\cdot}75}}\right)1\,119\,000}\right]^{\frac{4}{7}} = 17 \text{ litros.}$$

Sea, aora, $D = 0^m.100$ el nuebo diámetro adoptado. Komo en otro kaso anterior, se tendrá ke a este diámetro korresponde $L = 1\,093$ metros; por lo tanto—

$$Q = \left[\frac{100}{\left(\frac{0{\cdot}0014}{0{\cdot}100^{4{\cdot}75}}\right)1\,093}\right]^{\frac{4}{7}} = 21 \text{ litros.}$$

Los rresultados se allan, pues, lejos de ser konkordantes, lo ke prueba ke no puede aplikarse korrektamente la rrelazion de Dupuit, tal komo se la enkuentra en los libros, sino kon fórmulas de índize $n = 2$.

Para ke dicha rrelazion tenga karákter jeneral debe eskribirse—

$$\frac{L}{D^{2n+m}} = \frac{l_1}{d_1^{2n+m}} + \frac{l_2}{d_2^{2n+m}} + \frac{l_3}{d_3^{2n+m}} + \cdots \quad \ldots\ldots \quad (60).$$

De akuerdo kon esto, la fórmula de Flamant implika, komo esponente de $D$, $d_1$, $d_2$, $d_3$, etz., $2n + m = 4{\cdot}75$, en lugar de 5, balor del índize en la rrelazion de Dupuit. Esta interpretazion, ke es la korrekta, nos da los sigientes balores para la lonjitud rreduzida:—

1.$^{er}$ kaso—

$$L = 0{\cdot}400^{4{\cdot}75}\left(\frac{10\,000}{0{\cdot}400^{4{\cdot}75}} + \frac{5\,000}{0{\cdot}300^{4{\cdot}75}} + \frac{2\,000}{0{\cdot}200^{4{\cdot}75}} + \frac{1\,000}{0{\cdot}100^{4{\cdot}75}}\right)$$

$= 789\,840$ metros.

2.$^{o}$ kaso—

$$L = 0{\cdot}100^{4{\cdot}75}\left(\frac{10\,000}{0{\cdot}400^{4{\cdot}75}} + \frac{5\,000}{0{\cdot}300^{4{\cdot}75}} + \frac{2\,000}{0{\cdot}200^{4{\cdot}75}} + \frac{1\,000}{0{\cdot}100^{4{\cdot}75}}\right)$$

$= 1\,091$ metros.

Los gastos rrespektibos serían entonzes:—

1.$^{er}$ kaso—

$$Q = \left[\frac{100}{\left(\frac{0{\cdot}0014}{0{\cdot}400^{4{\cdot}75}}\right) 789\,480}\right]^{\frac{4}{7}} = 21 \text{ litros.}$$

2.° kaso—

$$Q = \left[\frac{100}{\left(\frac{0{\cdot}0014}{0{\cdot}100^{4{\cdot}75}}\right) 1\,091}\right]^{\frac{4}{7}} = 21 \text{ litros.}$$

Rresultados konkordantes, esta bez.

**44. Fórmula del zirkuito idráuliko aplikada al mismo problema.**—El método ke akabamos de esponer para kalkular el gasto de barios trozos unidos en serie es, komo se a bisto, un método indirekto. Los kálkulos a ke da oríjen son, ademas, bastante largos, en espezial kuando la fórmula usada es de esponente frakzionario. Al aplikarla se azepta komo demostrado ke $L$ es la lonjitud de una supuesta kañería uniforme, ke bajo una misma pérdida de karga inizial daría el mismo gasto ke la kañería mista.

La fórmula jeneral propuesta en el presente libro permite obtener una soluzion direkta del mismo problema. Se trata, en efekto, de un kondukto mismo ke en konjunto puede espresarse por el término $R$ de la rresistenzia total.

Sean $l_1$, $l_2$, $l_3$, ... las rrespektibas lonjitudes de los trozos konsekutibos.

Sean $r_1$, $r_2$, $r_3$, ... las rrespektibas rresistenzias por unidad de lonjitud de kada trozo.

Sea $H$ la karga total absorbida por los $L$ metros.

$$\therefore Q^n = \frac{H}{l_1 r_1 + l_2 r_2 + l_3 r_3 + \cdots} \quad \ldots\ldots\ (61),$$

de akuerdo kon la fórmula fundamental.

**Fázil es ber ke la soluzion puede ser kompleta, i no solamente limitada al kaso en ke el rrozamiento es la únika rresistenzia apreziable. Se a indikado (§ 40) de ke manera es posible espresar la influenzia de las kurbas, de los kambios de sekzion, etz., komo subtérminos de $R$, los ke, por lo tanto, pueden sumarse kon $l_1r_1$, $l_2r_2$, etz. Nos limitaremos, sin embargo, al kaso mas senzillo, en el kual no se toma en kuenta sino la frikzion.**

Konfrontemos el rresultado inmediato ke da la aplikazion de la fórmula (61), kon el obtenido poko antes por medio de la rrelazion de Dupuit i la fórmula de Colombo. Será nezesario tomar el mismo ejemplo, prebio kálkulo de $r_1$, $r_2$, $r_3$ i $r_4$ puesto ke no allaremos sus balores en la TABLA I, ke solo se rrefiere a las Fórms. I–V. Estos balores de la rresistenzia frikzional por unidad de lonjitud, usando la fórmula de Colombo, rresultan ser:—

para $D = 0^m.400 \ldots\ldots\ r_1 = 0{\cdot}237$
„ $D = 0^m.300 \ldots\ldots\ r_2 = 1{\cdot}000$
„ $D = 0^m.200 \ldots\ldots\ r_3 = 7{\cdot}593$
„ $D = 0^m.100 \ldots\ldots\ r_4 = 243{\cdot}000$

Por lo tanto,

$$Q = \left[\frac{H}{10\,000 \times 0{\cdot}237 + 5\,000 \times 1 + 2\,000 \times 7{\cdot}953 + 1\,000 \times 243}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$= 19{\cdot}4$ litros.

El rresultado es, pues, idéntiko al obtenido kon la rrelazion (59); solo ke en la última forma (61) el prozedimiento es direkto, sistemátiko i keda demostrado por el echo de ser un kaso partikular del prinzipio fundamental.

**45. Determinazion del 'largo rreduzido' por el mismo método.**—Se puede determinar el largo rreduzido, $L$, por medio de la fórmula ke se biene esponiendo, sin tener en bista las konsiderazionesde ke se deduze la rregla de Dupuit.

Sean $l_1$, $l_2$, $l_3$ ... los trozos suzesibos.

Sean $d_1$, $d_2$, $d_3$, ... los diámetros korrespondientes.

Sean $r_1$, $r_2$, $r_3$, ... las rresistenzias rrespektibas por unidad de lonjitud.

Sea $L$ el 'largo rreduzido,' por determinar, de la kañería ekibalente de diámetro uniforme $D$, i rresistenzia $r$ por unidad de lonjitud.

Tanto en el kaso de $l_1 + l_2 + l_3 + \cdots$ komo en el de $L$, la karga total $H$ keda konstante; ademas segun el enunziado, el gasto $Q$ debe ser el mismo en ambos kasos; por konsigiente, se pueden establezer las dos ekuaziones:—

$$Q^n = \frac{H}{l_1r_1 + l_2r_2 + l_3r_3 + \cdots},$$

i

$$Q^n = \frac{H}{Lr}.$$

Eliminando a $Q^n$ keda—

$$\frac{H}{Lr} = \frac{H}{l_1r_1 + l_2r_2 + l_3r_3 + \cdots} \quad \ldots \; (62);$$

de donde—

$$L = \frac{l_1r_1 + l_2r_2 + l_3r_3 + \cdots}{r} \quad \ldots\ldots \; (63),$$

ekuazion ke debe ekibaler a la de Dupuit.

En efekto, si en (62) rreemplazamos $r$, $r_1$, $r_2$, $r_3$, ...

por sus rrespektibos balores en funzion del diámetro (40) se llega a la rrelazion—

$$\frac{H}{L\left[\frac{K}{(\frac{1}{4}\pi)^n D^{2n+m}}\right]} = \left\{ \frac{H}{l_1\left[\frac{K}{(\frac{1}{4}\pi)^n d_1^{2n+m}}\right] + l_2\left[\frac{K}{(\frac{1}{4}\pi)^n d_2^{2n+m}}\right] + l_3\left[\frac{K}{(\frac{1}{4}\pi)^n d_3^{2n+m}}\right] + \cdots} \right.$$

Efektuadas las simplifikaziones suprimiendo los términos komunes keda, finalmente—

$$\frac{L}{D^{2n+m}} = \frac{l_1}{d_1^{2n+m}} + \frac{l_2}{d_2^{2n+m}} + \frac{l_3}{d_3^{2n+m}} + \cdots,$$

rrelazion ke no es otra ke la barias bezes menzionada, i ke es innezesario emplear si se prozede por el método jeneral ke se desprende de la fórmula de los tres términos.

**46. Determinazion del diámetro uniforme.**—Kuando el problema konsiste en kalkular el diámetro $D$ uniforme de una kañería ke tenga el mismo gasto i la misma lonjitud total $L$, ke otra kompuesta de zierto número de sekziones de diberso diámetro, se tiene la ekibalenzia—

$$Lr = l_1 r_1 + l_2 r_2 + l_2 r_3 + \cdots,$$

de donde—

$$r = \frac{l_1 r_1 + l_2 r_2 + l_3 r_3 + \cdots}{L} \quad \ldots\ldots \quad (64).$$

Sustituyendo este balor de $r$ en (49) se obtendrá el balor del diámetro buskado. Mas simple es, todabía, ber en la TABLA II a ke diámetro korresponde el ba-

lor konozido de $r$, prozediendo por lo demas segun se indikó en § 32.

**47. Kaso en ke los trozos son de diberzos koefizientes de aspereza.**—Tambien puede okurrir el kaso en ke las dibersas sekziones no sean solamente desiguales en kuanto a los largos i a los diámetros sino, ademas, rrespekto de la rrugosidad rrespektiba. Para rresolber un kaso de esta naturaleza, komenzemos por establezer kual será la ekuazion del gasto en kada sekzion, puesto ke aora el índize $n$ no es uniforme, ni la frakzion de $H$ absorbida en kada trozo es la misma.

La serie de esas ekuaziones será, ebidentemente:—

1.ª sekzion—

$$Q^{n'} = \frac{h_1}{l_1 r_1}, \text{ de donde } h_1 = l_1 r_1 Q^{n'};$$

2.ª sekzion—

$$Q^{n''} = \frac{h_2}{l_2 r_2}, \text{ de donde } h_2 = l_2 r_2 Q^{n''};$$

3.ª sekzion—

$$Q^{n'''} = \frac{h_3}{l_3 r_3}, \text{ de donde } h_3 = l_3 r_3 Q^{n'''};$$

etz. etz.

Aora bien, $h_1 + h_2 + h_3 + \cdots = H$, kantidad konozida, de modo ke podemos establezea la ekuazion:—

$$l_1 r_1 Q^{n'} + l_2 r_2 Q^{n''} + l_3 r_3 Q^{n'''} + \cdots - H = 0 \quad \ldots . \quad (65),$$

la kual puede rresolberse del modo ke se esplika al final del § 41.

EJEMPLO 8.—*Sean las tres sekziones etereojéneas unidas en serie:*—

**1.ª $l_1 = 2\,000$ m; $d_1 = 0^m.300$; $n' = 1{\cdot}8$; $i\ r_1 = 0{\cdot}35$.**
**2.ª $l_2 = 1\,500$ m; $d_2 = 0^m.200$; $n'' = 1{\cdot}9$; $i\ r_2 = 5\ 36$.**
**3.ª $l_3 = 500$ m; $d_3 = 0^m.100$; $n''' = 2{\cdot}0$; $i\ r_3 = 374$.**

**Demos a $H$, para simplifikar el kaso, el balor de 100 metros—**

$$\therefore\ 700Q^{1\cdot8} + 8\,040Q^{1\cdot9} + 187\,000Q^{2} - 100 = 0.$$

**Prozediendo en konformidad kon kualkiera de los métodos aludidos se llega al rresultado—**

$$Q = 22{\cdot}5 \text{ litros por segundo.}$$

De una manera análoga pueden rresolberse los problemas rreferentes al diámetro, a la karga, etz.

**48. Kaso de kañerías en paralelo o en kantidad.**—Komo es fázil komprender, el kálkulo en un kaso komo este es mui senzillo, en atenzion a ke puede efektuarse por parzialidades, independientemente para kada trozo. Un konjunto etereojéneo de kañerías, ke no tengan de komun mas ke los puntos de arranke i de llegada, puede manifiestamente ser rreemplazado por una sola kañería de diámetro uniforme, para azer un mismo serbizio. Un sistema semejante, kompuesto de barios rramales, korresponde a las sigientes ekuaziones del gasto:—

1.er rramal—

$$q_1 = \left(\frac{H}{l_1 r_1}\right)^{\frac{1}{n'}};$$

2.º rramal—

$$q_2 = \left(\frac{H}{l_2 r_2}\right)^{\frac{1}{n''}};$$

3.er rramal—

$$q_3 = \left(\frac{H}{l_3 r_3}\right)^{\frac{1}{n'''}}.$$

Segun la kual, la suma $Q$ de las gastos parziales $q_1 + q_2 + q_3 + ...$ es konozida, o puede kalkularse por medio de las ekuaziones indikadas. Por lo tanto, todo lo ke rrekiere para pasar del sistema de kañerías eteorojéneas al de un solo kondukto, es kalkular la rresistenza total ke debería tener este último, por medio de la fórmula $Lr = \frac{H}{Q^n}$. Komo el produkto $Lr$ es konstante, el balor de $L$ estará subordinado al ke se adopte por $r$ (o sea para el diámetro), o bize bersa.

## KAPÍTULO VII.

### *KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA.*

#### I.—DIBERSAS FASES DE LA KUESTION.

**49. Kaso mas jeneral.**—La kuestion de ke trataremos en este kapítulo presenta tres fases prinzipales ke kombiene diseñar desde luego. La primera de ellas, la de importanzia mas jeneral, se rreduze lisa i llanamente al problema de utilizar en un lugar dado la enerjía de un kaudal de agua ke es forzoso konduzir por kañerías, kualkiera sea la rrazon ke oblige al empleo de este prozedimiento. No está de mas el rrekordar ke esta nezesidad se presenta siempre ke entre los puntos estremos—el de kaptazion i el de utilizazion del agua—eksiste una fuerte gradiente idráulika. En tales zirkunstanzias es impraktikable un kanal abierto, tanto por difikultades de órden puramente material, kuanto porke en un kondukto de esa naturaleza no puede aber mayor presion ke la atmosférika.

Por lo demas, ke la potenzia de la kaída se utilize en el punto de llegada del agua, o se trasmita mekánika o eléktrikamente a la distanzia, de todos modos el ofizio de la kañería abrá terminado allí dónde se berifika esta primera trasformazion.

Debemos adbertir ke lo ke de un modo jeneral designaremos por kaída o karga total, rreferida a una kañería konduktora, es el desnibel o diferenzia de potenzial idráuliko produzido por la grabedad. Su balor numériko en 'metros' se mide por la distanzia bertikal entre la superfizie libre del agua, por el lado de la entrada, i el plano ekipotenzial ke pasa por la estremidad de salida, en la kual el agua buelbe a kedar a la presion atmosférika. Esta distanzia, kualkiera ke sea su magnitud, es el término ke emos espresado, i segiremos espresando, simbólikamente por *H*. Para una kañería mui larga rrespekto del diámetro, la misma distanzia puede tomarse práktikamente komo igual a la diferenzia de nibel entre ambos estremos de la kañería konsiderada.

**50. Problemas dibersos ke pueden asoziarse a este primer kaso.**—Los problemas del karákter indikado, suszeptibles de okurrir en la práktika en un país komo Chile, pueden ser de la mas bariada importanzia. Desde los torrentes de la kordillera, asta la mas pekeña kantidad de agua ke se distraiga de un kanal ke pase a zierta altura, eksijen el empleo de konduktos ermétikos, siempre ke aya ke utilizar la potenzia del agua bajo presion. Ozioso pareze agregar ke no solo las grandes instalaziones sino aun las mas pekeñas rrekieren un kálkulo sobre las dimensiones mas adekuadas de las rrespektibas kañerías, kuando se prozede rrazionalmente.

Ejemplo típiko de aplikazion de kañería a la produkzion de poder idráuliko en grande eskala, será el de la instalazion ke sin duda abrá de azerse en tiempo no mui lejano, en alguna sekzion del rrío Akonkagua, en

la parte komprendida entre Santa Rrosa de Los Andes i El Portillo o la laguna del Inka. Basta eksaminar la Fig. 7, para darse kuenta en el akto de la konsiderable enerjía ke rrepresenta kada litro de agua ke desziende desde la altura, sigiendo las sinuosidades de la kebrada.

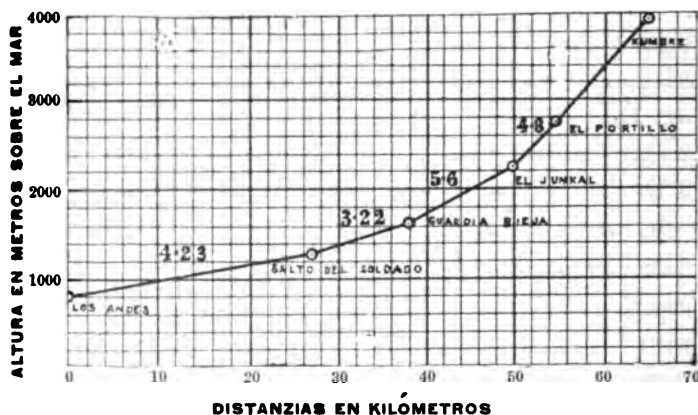



Fig. 7.—Gradiente del rrio Akonkagua, entre la kordillera i Santa Rrosa de los Andes.

Los números (4·23, 3·22, etz.) indikan los kaballos *efektibos* aprobechables entre estazion i estazion, por kada 1 litro del kaudal.

Fijémonos tan solo en la sekzion komprendida entre Guardia Bieja i Santa Rrosa de los Andes, sekzion kuyo desarrollo no alkanza a 38 kilómetros. La diferenzia de nibel entre ambos estremos es de 810 metros; luego, *kada litro por segundo* del kaudal ke korre perennemente sin produzir trabajo útil rrepresentaría, a trabés de todas las pérdidas—en las kañerías, la turbina, etz.—una potenzia de, a lo menos, *siete kaballos efektibos*. Siete kaballos efektibos por kada litro por segundo de los 2 000, 3 000,... aprobechables en rréjimen permanente

rrepresentan, pues, una potenzia útil konsiderable, segura, de lo mas barato por el jénero de instalazion idráulika eksijida, i suszeptible de ser rrepartida eléktrikamente por toda una rejion feraz i minera a la bez, i kon todos los rrekursos para llegar a ser un zentro industrial de importanzia. Tomados en konjunto, esa parte del Akonkagua i los afluentes de este rrio, entre Santa Rrosa i El Juncal, por ejemplo, segun kálkulo moderado rrepresentan a lo menos 50 000 kaballos efektibos. El mismo kaso, en mayor o menor eskala, i kon mayores o menores bentajas, se rrepite de distanzia en distanzia, a lo largo de gran parte de Chile.

Otra aplikazion importante konsistiría en el aprobechamiento de la fuerza motriz, muchas bezes konsiderable, ke puede obtenerse kon las kañerías alimentadoras de los estankes aneksos a una distribuzion de agua potable. Santiago, San Bernardo, etz., enkuéntranse en ese kaso, i de Balparaíso podrá dezirse otro tanto, antes de mucho. * Mas adelante se berá ke el problema no podrá

* Toda posible aplikazion de este jénero entre nosotros, se presta a obserbaziones mui interesantes, no solamente por las zirkunstanzias ke le son pekuliares desde el punto de bista idráuliko, sino tambien por la kontrobersia de karákter ijiéniko a ke a dado oríjen la simple tentatiba de llebar a kabo una de esas instalaziones. El proyekto del injeniero don Balentin Martinez para utilizar en la aludida forma la kaída de la kebrada de Rramon (prinzipal fuente de abastezimiento de agua potable de Santiago), antes de ser rrekojidas las aguas en los depósitos distribuidores, fué seberamente impugnado por el Konsejo Superior de Ijiene de Chile. Esta instituzion konsideró ke la aplikazion del agua a un serbizio de turbinas, aun erméticamente enzerradas, komo las ke proponía el autor del proyekto, entrañaba peligro de kontaminazion dañosa. Para kien aya tenido la oportunidad de estudiar el asunto bajo su doble aspekto—idráuliko e ijiéniko—la afirmazion espresada no rresiste al mas lijero análisis. *Mekánikamente,* desarrollar potenzia por medio de turbinas enzerradas i unidas a las kañerías alimentadoras de un serbizio de agua potable konstituye, a no dudarlo, un prozedimiento opuesto al de

ser el mismo, tratándose de un serbizio kombinado de esta naturaleza, ke el de konduzir, simplemente, a los depósitos, por medio de kañerías, el agua kaptada a altura i a distanzia mas o menos grandes. Se impone así, un kálkulo espezial para kada kaso, en lo ke se rrefiere a determinar el diámetro i las kondiziones de rresistenzia mekánika de los kaños. En la última forma, el agua se bazia sin presion i kon el máksimo de belozidad ke se a juzgado azeptable; en la otra, la presion puede llegar a ser konsiderable, i mui pekeña en kambio la belozidad, lo ke desde luego implika diámetros proporzionalmente mayores, para igual gasto obtenido.

**51. Segundo kaso: trasmision i distribuzion idráulikas de la enerjía.**—El kaso ke akaba de konsiderarse es tambien, en rrigor, uno de trasmision de enerjía, por kuanto se trata por las mismas fórmulas jenerales ke aora bamos a tomar sumaria-

absorber potenzia para elebar el agua por medio de bombas interkaladas en kañerías de esa misma klase: *ijiénikamente*, por el kontrario, ambos kasos son en absoluto iguales, por lo ke toka al kriterio ke deba aplikarse para juzgar si eksiste o no probabilidad de kontaminazion del agua, al pasar esta por bombas, turbinas u otra makinaria idráulika del mismo jénero. Komo detalle pertinente al asunto: ¿kién no puede zerziorarse de ke la primitiba, irreprochable pureza del agua elebada por las bombas de El Salto (Balparaíso) nunka esperimentó kambio alguno desfaborable, sino desde el momento en ke los pozos kedaron sujetos a toda suerte de infekzion por kausas, no ai para ke dezirlo, mui ajenas a la makinaria? Sin ir demasiado lejos, ni azer rreferenzia a muchas ziudades, fijémonos simplemente en la probision de agua potable de Buenos Aires. Allí, los 100 000 $m^3$ del konsumo medio aktual en las 24 oras, son esklusibamente elebados por medio de bombas, ke absorben una fuerza konstante de zerka de 2 000 kaballos de bapor. El sistema no es ni puede ser rrechazable, por konformarse a las preskripziones sanitarias aktualmente konsideradas komo sufizientes. Kon menor motibo, aun, es rrechazable una instalazion idráulika, si se atiende a ke el sistema motor rrekiere aun menos ke las bombas, estar en kontakto kon ajentes esternos.

mente en kuenta. Kon todo, la presente denominazion es mas bien aplikable a una instalazion de bapor, la kual impulsa el agua, por medio de bombas, dentro de un kondukto ke aze el ofizio de trasmisor de la enerjía rrepresentada por la kompresion; es dezir, de akella parte no absorbida en forma de rrozamiento.

En otras palabras, segun el primer sistema, aplíkase la enerjía aprobechable de una kaída natural de agua al mobimiento de makinaria o a la jenerazion de korriente eléktrika, para usarla en el propio lugar o trasmitirla a la distanzia, etz. El prozedimiento opuesto, el ke nos okupa por el momento, konsiste en utilizar otra fuente de enerjía, *v. gr.*, la kalorífika, para embiar el agua bajo presion, por medio de kañerías, kreando de este modo una kaída artifizial. Sobre todo okurre esto último, si a parte de utilizarse direktamente la potenzia en esa forma trasmitida, se la emplea en elebar el agua, akumulándola en depósitos, para rredistribuir oportunamente la enerjía almazenada.

Konsiderado este sistema simplemente en su kapazidad de trasmitir grandes fuerzas a grandes distanzias, no puede ziertamente kompetir kon el gas, por ejemplo, ni mucho menos kon la eletrizidad. Esta defizienzia probiene ante todo de ke las mayores kañerías idráulikas ke pueden usarse en la práktika, no eszeden aktualmente, por kausa de difikultades mekánikas mui serias, de 250 milímetros para una presion de 50 atmósferas. I, adbiértase ke esas son kañerías de azero, sistema Mannesmann, rreputadas komo las mas rresistentes, tanto por la kalidad del metal de ke están echas, komo por el singular prozedimiento de su fabrikazion. En semejantes kondiziones, la potenzia trasmisible

por un simple kondukto no puede ser konsiderable.

En kambio, para un sistema de distribuzion urbana, el idráuliko ofreze bentajas ke lo ponen al par de sus konjéneres, kon tal ke se trate de un serbizio de karákter intermitente para grandes motores, o de un serbizio permanente de los pekeños motores idráulikos usados en la industria. Un interesante ejemplo de esta klase de serbizio, tan jeneralizado en los puertos, lo tenemos en la distribuzion idráulika del muelle i de los almazenes fiskales de Balparaíso. Rresaltan todabía mas las bentajas de tal serbizio, en un puerto komo el nombrado, en donde kasi al lado mismo en ke aplika kon tanto éxito una de las mas útiles imbenziones da lainjeniería moderna, se be aun en uso el mas primitibo de los sistemas imajinables para la karga i la deskarga de las merkaderías.

Instalaziones en grande eskala para distribuir por este método la enerjía mekánika, ora limitadas a ese serbizio esklusibamente, ora kombinadas kon un serbizio de agua potable, eksisten muchas aktualmente en Europa i en los Estados Unidos. La *London Hydraulic Power Company*, las Obras idráulikas de Jinebra, las de Zurich, etz., son algunas de las mas importantes. La mas orijinal e interesantes de esas instalaziones es la idroeléktrika de Amberes; pero, segun pareze, no a dado los rresultados ke de esa kombinazion se esperaban, lo ke debe achakarse probablemente, antes ke a defektos insalbables del sistema, a la muerte (okurrida no aze mucho) de su iniziador, el injeniero belga Van Rysselbergh.

En ziudades komo las de Chile, manifiestamente no tendría kabida ninguna instalazion del jénero konside-

rado. Aun en zentros de poblazion komo Santiago i Balparaíso, la densidad industrial es práktikamente nula, i las pokas nezesidades ke en punto a distribuzion de fuerza motriz eksisten en la aktualidad, son en gran parte satisfechas mediante el empleo de motores de gas. En kuanto a un posible desarrollo de esta inzipiente kondizion industrial, es probable sea estimulado, no ziertamente por una distribuzion idráulika, sino por la jeneralizazion en kada ziudad de un sistema rrazional de distribuzion de enerjía eléktrika, kon su marabillosa kapazidad de plegarse, kual ningun otro sistema, a todas las eksijenzias, tanto de las grandes fábrikas komo de los pekeños talleres.

**52. Terzer kaso: aprobechamiento de la fuerza motriz del agua potable en los rramales de serbizio.**—Keda por konsiderar un terzer aspekto de la misma kuestion. Nos rreferimos al kaso de kañerías o rred de kañerías destinadas esklusibamente a la distribuzion de agua potable en las ziudades. Dentro de ziertos límites, rrestrinjidos por kausa del alto prezio del agua i de insufizienzia de presion, esas kañerías konstituyen, sin embargo, un berdadero sistema de distribuzion de enerjía a la bez ke del agua misma, konsiderada esta solo komo elemento material de impreszindible nezesidad públika o doméstika.

Si bien se eksamina, lo ke una empresa de distribuzion de agua potable suministra al konsumidor es, no solamente zierto bolúmen de agua sino tambien zierta suma no desdeñable de enerjía en la forma de $HQ$. Tanto mayor será la potenzia aprobechable para un balor dado de $Q$ (lo úniko ke se kobra al konsumidor)

kuanto mas grande sea la presion del agua en la llabe de salida.

Kon el fin de apreziar en su justo balor la kapazidad de produzir trabajo ke enzierra kada litro o kada metro kúbiko de agua potable distribuida bajo presion en una ziudad komo Santiago, por ejemplo, estudiemos un kaso partikular. La Fig. 8 rrepresenta la kurba de

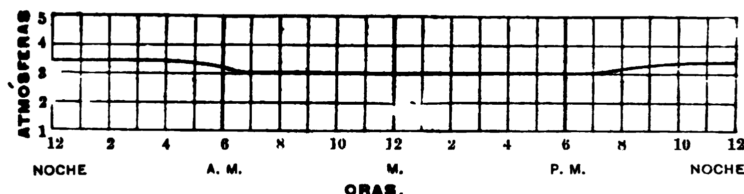



Fig. 8.—Kurba de la presion del agua potable (berano de 1898) en el primer piso de la Unibersidad de Santiago.

presion de berano (1898)—por konsigiente la menos alta del año—a 2 metros de altura sobre la kañería matriz ke pasa frente a la Unibersidad. Segun esa kurba, obtenida por medio de un manómetro inskriptor Richard, rresulta ke durante las oras de máksimo konsumo, o sea entre de 6 a 7 a. m. i de 7 a 8 p. m., la presion nunka baja de 3 atmósferas, lo ke ekibale a una kolumna de merkurio de $2^{m}.28$ o, justamente, a una kaída o salto de agua de 31 metros. Dada la gran diferenzia de sekzion entre una kañería matriz i un rramal de serbizio, este guarismo rrepresenta la presion práktikamente konstante en el punto de la deribazion, para kualkiera rréjimen del derrame.

Luego, entonzes, kada metro kúbiko ke sale de la rred jeneral, en toda la zona korrespondiente al mismo

nibel indikado, rrepresenta una kapazidad de produzir trabajo, de—

$$1\,000 \times (31 + 2) = 33\,000 \text{ kilográmetros,}$$

ke son absorbidos en su kasi totalidad por el rrozamiento del líkido en los rramales de serbizio, pues solo una pekeña frakzion es empleada en elebar el agua a los 2 metros antedichos. Se komprende sin difikultad ke, aun estando los diámetros de los rramales en la proporzion ke indikan los kálkulos de mas adelante, la pérdida de presion por frotamiento puede rreduzirse konsiderablemente, lográndose aprobechar de este modo, komo trabajo útil, gran parte del disipado en la otra forma.

Supongamos aora ke, grazias a este espediente, se llege a obtener junto kon el derrame de zierta kantidad de agua, una presion indikada manométrikamente de 25 'metros' lado adentro de la llabe. Para kalkular el trabajo efektibo ke podría rrealizar el konsumidor por kada metro kúbiko ke la empresa le suministrase en tales kondiziones de presion, tenemos desde luego ke la enerjía total de ese bolúmen sería, independientemente del tiempo gastado en la deskarga, de—

$$1\,000 \times 25 = 25\,000 \text{ kilográmetros.}$$

Kómo un kaballo-ora korresponde a

$$76^{\text{kgm.}} \times 3\,600^{\text{s}} = 273\,600 \text{ kilográmetros,}$$

rresulta de esto ke, dado un rrendamiento útil de 75% para el pekeño motor ke se empleara, los 25 000 kgm. ekibaldrían a—

$$0{\cdot}75 \times \frac{25\,000}{273\,600} = 0{\cdot}0687 \text{ kaballo-ora efektibo.}$$

Por manera ke un kaballo-ora efektibo en el eje del supuesto pekeño motor, eksijiría por ora un gasto de—

$$\frac{1}{0{\cdot}0687} = 14{\cdot}5 \text{ m}^3.$$

No es difízil kalkular ke, aun al rrelatibo bajo prezio de 5 zts. por metro kúbiko, i en ausenzia de todo otro gasto, fuera de la insignifikante depreziazion del motor, la fuerza idráulika en eskala i kondiziones semejantes, no kompara faborablemente bajo ningun konzepto kon los otros sistemas.

E akí, a este rrespekto, un kálkulo komparatibo ke puede ser útil, debiendo adbertir ke para kada kaso se suponen motores pekeños de pobre rrendimiento, mui poko ekonómikos, por lo mismo, al lado de los grandes motores del sistema korrespondiente:—

| SISTEMA | KOSTO POR UNIDAD | KONSUMO | KOSTO DEL KABALLO-ORA EFEKTIBO |
|---|---|---|---|
| Gas ............... | 20 zts. el m$^3$ | 1·5 m$^3$ | 30 zts. |
| Id. ............... | 10 „ id. | id. | 15 „ |
| Elektrizidad... | 30 „ el kw-ora | 1 kw-ora | 30 „ |
| Id. ... | 15 „ id. | id. | 15 „ |
| Agua potable. | 10 „ el m$^3$ | 14·5 m$^3$ | 145 „ |
| Id. . | 5 „ id. | id. | 72·5 „ |

No se toman en kuenta, para esta komparazion, pekeños gastos sekundarios ke solo llegan a ser apreziables en el kaso del motor de gas.

Dos zirkunstanzias, sin embargo, obligan a modifikar la impresion inmediata ke dejan estos guarismos. En primer lugar, eksisten muchos kasos en la práktika, en ke puede emplearse bentajosamente la fuerza motriz de las kañerías de agua, no obstante su kosto komparati-

bamente elebado: el senzillo manejo de los motores rrekeridos, la poka o ninguna atenzion ke ai ke prestarles, la ausenzia de produktos inkómodos o perjudiziales durante su funzionamiento, etz., azen ke el sistema sea mui adekuado para los pekeños talleres o los laboratorios, así komo tambien para el mobimiento de aszensores u otra makinaria intermitente; no está de mas agregar ke en muchos kasos puede tambien aprobecharse direktamente el agua ke pasa por el motor. En segundo lugar, nos a tokado presentar un ejemplo de distribuzion de agua a baja presion; mientras tanto, un mayor balor de $H$ para un mismo bolúmen de agua empleado, puede azer bajar en no pekeña proporzion el kosto del kaballo-ora efektibo. Por ejemplo, en Balparaíso, una bez terminadas las Obras de Peñuelas, ke permitirán llegar kon el agua a 300 metros sobre el plano de la ziudad, no será difízil adoptar un sistema en ke la presion obtenida por el konsumidor, sea a lo menos dos a tres bezes la indikada en el diagrama ke sirbió para establezer el kálkulo último.

### II.—NATURALEZA DEL PROBLEMA.

**53. Konsideraziones jenerales.**—El kálkulo rrelatibo a la kapazidad i, en jeneral, a las dibersas kondiziones ke debe satisfazer una kañería de agua destinada a la produkzion de fuerza motriz, forma parte de otro problema de karákter mas komplejo. Problema es este ke debe soluzionarse en kada kaso tomando en kuenta dibersos faktores ke son pekuliares al kaso mismo. Las mas de las bezes, la kañería konstituye el elemento prinzipal, pero no el úniko, de un sistema

idráuliko de trasmision o distribuzion de enerjía. A no eksistir ziertas konsideraziones, de karákter ekonómiko las unas, de karákter puramente mekániko las otras, el problema se konkretaría, segun se espuso en el § 4, a adoptar siempre kaños del mayor diámetro kompatible kon los gastos de fabrikazion, de trasporte i de kolokazion. Rreduziendo por este arbitrio la belozidad del agua en el kondukto, podría llegarse a eliminar kasi por kompleto la gran kausa de pérdida de enerjía, kual es el rrozamiento. No es este el kaso, sin embargo: ai ke tomar forzosamente en kuenta si el aumento de kapital eksijido por la mayor kapazidad del kondukto se alla en rrelazion kon las bentajas ke se pretende alkanzar por ese medio; en otros términos, ai ke determinar si el interés absorbido por el eszeso de kapital imbertido en la obra, alkanza a ser kubierto kon el balor komerzial de la enerjía ekonomizada. Es esta, segun se komprende, una lei ekonómika komun a toda instalazion mekánika de karácter industrial.

**54. Premisa ekonómika de los kaños.**— Tomada en konjunto la instalazion idráulika de aprobechamiento o trasmision de fuerza, instalazion de la kual es uno de los elementos primordiales la kañería, debe esta ser kalkulada kon arreglo a un prinzipio ekonómiko análogo al ke rrije para los kasos de trasmision eléktrika de enerjía, a saber:—

[ {El balor bruto anual del **trabajo** obtenido kon la kañería,} — {el balor total anual de los **gastos** de todo jénero eksijidos por la instalazion, inkluyendo interes sobre akella parte del kapital tomado a un interes fijo,} ] ÷ [el **kapital** total imbertido, eszepzion echa del tomado a un interes fijo,] debe ser un máksimo.

O, en símbolos—

$$(T - G) \div K \text{ debe ser un máksimo.}$$

Kon el fin de azer mas jeneral esta premisa ekonómika, de suerte ke puda abarkar el kaso de una planta kombinada de trasmision de enerjía i de aprobechamiento del agua (kualkiera sea la importanzia rrelatiba de ambos serbizios), podríamos agregar al primer término de la espresion anterior, la frase komplementaria "junto kon el balor asignado al agua aprobechada."

De todos modos, lo ke inkumbe a nuestro propósito es el kálkulo rreferente al elemento 'kañería,' konsiderado ese kálkulo bajo su doble aspekto, físiko i ekonómiko. Los problemas de esta naturaleza ke pueden presentarse en la práktika kedan komprendidos en una u otra de estas dos kategorías:—

A.—Dado el balor komerzial de la potenzia ke se desea produzir kon una kaída de agua, determinar el diámetro (e. d. la rresistenzia) mas kombeniente de la kañería: 1), kuando el kaudal de agua es limitado i ai ke usarlo en su totalidad, a fin de kedar en las mejores kondiziones posibles de aprobechamiento de la kaída; 2), kuando el kaudal es ilimitado i supera, por konsigiente, al máksimo de agua rrekerida.

B.—Dado el diámetro de una kañería, kolokada o por kolokar en kondiziones konozidas, determinar la potenzia máksima ke es posible obtener kon esa kañería: 1), kuando el kaudal de agua es limitado i debe usarse totalmente para kedar en las mejores kondiziones posibles de aprobechamiento de la kaída; 2), kuando el kaudal eszede del korrespondiente al rréjimen ke emos llamado de máksima potenzia.

El kálkulo mas útil i de aplikazion mas jeneral es el korrespondiente a la kondizion B, 2. Fuera de akellos

kasos en ke su aplikazion es inmediata, ke talbez son los mas numerosos en la práktika, puede ademas serbir siempre de base de rreferenzia para la mas espedita soluzion de los otros problemas komprendidos en la klasifikazion anterior. Puede serbir tambien en los kasos espeziales de aprobechamiento de enerjía i simultánea distribuzion del agua empleada en esa operazion. Téngase presente, a propósito de lo primeramente obserbado, ke son muchas las kañerías kolokadas simplemente kon el propósito de konduzir agua, ke podrían mui bien utilizarse ademas en la produkzion de la potenzia. A parte de esto, la misma forma de kálkulo tendrá nezesariamente ke aplikarse, tratándose de un proyekto de instalazion, kuando solo sea posible disponer de kaños de diámetro fijo; o, todabía, kuando la kondizion diámetro determinado sea impuesta por kualeskiera otras zirkunstanzias, de karákter mekánkia, komerzial, etz.

Por konsekuenzia, la base al parezer mas rrazional para los kálkulos de las kañerías destinadas a la produkzion de potenzia konsistiría, en jeneral, en lo ke podríamos llamar la lei de ekonomía de los kaños: esa kondizion de serbizio korrespondiente a la máksima potenzia ke es dable obtener kon un diámetro dado.

## III– BASE TEÓRIKA DE LOS KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA.

**55. La nozion de zirkuito idráuliko.**—En el KAPÍTULO V, kuando se trataba únikamente de la kondukzion del agua por medio de kañerías, i de las rrelaziones ke ligan, segun zierta lei empírika, el gasto, la karga i la rresistenzia, aludimos a la bentaja ke para

los kálkulos ofrezía asimilar todo el fenómeno a la nozion de zirkuito idráuliko. Para empezar, esta nozion korresponde a la rrealidad de los echos. Toda korriente konstante de agua, ke deszienda libremente o bien enzerrada en un kondukto kualkiera, desde un nibel dado a otro inferior, zesaría indudablemente al kabo de tiempo mas o menos largo, si de algun modo no se estubiera alimentando, kontínua o periódikamente, la fuente o depósito de donde prozede el kaudal. En la naturaleza el siklo es perpétuo; la elebazion i el subsekuente deszenso de las aguas son mantenidos de una manera inzesante por la ebaporazion debida al kalor solar i por la akzion de la grabedad, rrespektibamente. De suerte ke la fuerza idráulika, de la kual el Niágara kon sus siete millones de kaballos konstituye un buen ejemplo, no biene a ser en buena kuenta sino una ínfima frakzion de la enerjía disipada por el sol a trabés de los espazios.

Konforme a este modo de pensar, la kañería interkalada entre una fuente kualkiera de agua i un punto a inferior nibel, konstituye parte de un zirkuito definido; dicho zirkuito se kompleta a trabés de la atmósfera, por la akzion natural a ke se izo rreferenzia primeramente, o bien, mediante elebazion artifizial del agua ke es nezesario ir rreponiendo. Por manera ke, en rrealidad, el agua 'zirkula,' efektuando durante el dezenso por la kañería, un trabajo eskatamente igual al ke nezesitó para ser elebada asta el nibel de ke desziende. La misma kosa se berifika kon otros fenómenos zíklikos komo por ejemplo las korrientes eléktrikas.

La analojía físika, mas ke la analojía, la ekibalenzia entre los fenómenos idráulikos i eléktrikos, en kuan-

to tienen ke ber kon el prinzipio de la konserbazion o persistenzia de la enerjía, lleba naturalmente a aplikar en ambos kasos el mismo tratamiento matemátiko. Tal fué lo ke izimos en el zitado kapítulo, al kondensar en una espresion análoga a la lei de Ohm la abigarrada manera en ke, kon tantos inkombenientes para el estudiante komo para el injeniero, se presentan las numerosas fórmulas idráulikas de konstante aplikazion, konzerniente a las kañerías.

**56. La funzion potenzial.**—De lo dicho en el § 28 se sige ke ai una simplifikazion de konzepto en asmilar $H$, no a una mera lonjitud $[L]$ sino a una diferenzia de potenzial $[L^2T^{-2}]$; i $Q$, no a un peso o fuerza sino a la simple dimension de masa $[M]$. En otros términos, kada unidad de $QH$, la enerjía potenzial de una masa $Q$ (de agua, en nuestro kaso), deskompuesta segun el sistema de las dimensiones sería $[M]\times[L^2T^{-2}]$, —es dezir masa por potenzial o diferenzia de potenzial, en bez de $[MLT^{-2}]\times[L]$,—es dezir fuerza por distanzia.

Esta espresion 'potenzial' ofreze el inkombeniente de sonar kon mucha solemnidad para akellas personas ke no buskan en la eboluzion de las ideas motibo de elebadas diskisiziones, sino de aplikazion a algun fin determinado de la bida práktika. Sin embargo, aun desde este último punto de bista, pokas konzepziones mas útiles i senzillas ke la de potenzial, kuando se la despoja de todo arreo matemátiko, rrestrinjiendo a modestos límites el signifikado ke ella pudo enzerrar para el intelekto de un Gauss, de un Green o de un Laplace.

Suzede ke todo konozimiento basado antes ke nada en definiziones, es nezesariamente trunko i enkamina lo

mas de las bezes a dedukziones erróneas. Por ejemplo, en la mayor parte de los testos o tratados, suele prezeder al empleo de la espresion 'potenzial', rrefiriéndose a la elektrizidad, una definizion mas o menos komo esta: —"El potenzial en un punto dado es el trabajo ke debe gastarse en una unidad de elektrizidad positiba para traerla a ese punto desde una distanzia infinita." Literalmente, todo lo anterior konstituye a primera bista una idea inazeptable. Sería nezesario establezer una larga serie de konsideraziones sobre las llamadas fuerzas zentrales newtonianas, ke aktúan en rrazon imbersa del kuadrado de la distanzia, para allar en la nozion de 'infinidad' una simple abrebiazion ke no puede ser rreemplazada por la espresion 'distanzia indefinida'.

Mucho mas akzesible es ya esta doble nozion:—"Kampo de fuerza es la rrejion o espazio en kada uno de kuyos puntos aktúa una fuerza definida. El potenzial en un punto de kampo de fuerza es el trabajo echo por la unidad de masa al ser traída asta el punto desde una distanzia infinita."

De lo primero, en berdad, podemos formar konzepto bastante klaro kon solo parar mientes en ziertas kondiziones físikas ke están o puede estar a nuestro alkanze; ke es fázil apreziar direkta, objetibamente, komo por ejemplo:—

La rrejion o espazio ke rrodea a un kuerpo o grupo de kuerpos elektrizados es un kampo de fuerza (elektrostátiko);

La rrejion o espazio ke rrodea a un iman o grupo de imanes es un kampo de fuerza (magnétiko);

La rrejion o espazio ke rrodea a la armadura de un

dínamo en mobimiento es un kampo de fuerza (elektromagnétiko);

La rrejion o espazio, finalmente, ke nos rrodea es un kampo de fuerza (newtoniano o grabitazional).

Se prezisa todabía mas la idea sobre la naturaleza de un kampo de fuerza kon el konzepto de las líneas de fuerza ke lo konstituyen, konzepto ke asta zierto punto puede materializarse en muchos kasos. Toda fuerza es, matemátikamente konsiderada, una kantidad bektorial o dirijida, es dezir ke no solamente tiene zierta magnitud sino tambien sentido o direkzion determinada. Se azen patentes las líneas de fuerza i su direkzion en un kampo magnétiko, por medio del konozido esperimento del iman i las limaduras de fierro, las kuales se alinean rregularmente komo si irradiasen de los polos del iman.

Mas aplikable a nuestro propósito es aun el kaso de los innumerables filetes líkidos de una llubia, kuando no está akompañada de biento. La eksistenzia, —la estruktura misma, por dezirlo así—del kampo de fuerza de la grabedad terrestre se nos manifiesta de un modo palpable. Kada glóbulo, o mejor dicho, kada molékula del líkido, al deszender sigiendo la direkzion de la bertikal, kambia de posizion aumentando progresibamente su potenzial absoluto, entendido segun la definizion, esaktamente en la misma kantidad ke disminuye su potenzial rrelatibo; es dezir, rrespekto del suelo, tomado este plano komo oríjen, komo superfizie ekipotenzial zero.

Para jeneralizar la nozion de potenzial aplikada a la grabedad, konsideremos el fenómeno de la kaída en kondiziones ke no sean las del ejemplo anterior, esto es, ke el kamino rrekorrido no sea en línea rekta, si-

giendo la direkzion de la bertikal, sino otro kualkiera. Imajinemos a la altura de nuestra bista la masa de un dezímetro kúbiko de agua. Su potenzial absoluto, tomado el zentro de grabedad komo punto de rreferenzia, ekibale numérikamente al trabajo efektuado por la kaída de esa masa desde una distanzia infinita asta dicho punto. No es nezesario para nuestro propósito preokuparse de kual pueda ser su balor numériko: baste rreflekzionar en ke si la masa konsiderada kambia de nibel en *un metro*, medido en distanzia bertikal, su nuebo potenzial absoluto abrá aumentado en una kantidad konozida, puesto ke el trabajo rrealizado en el deszenso es konozido: un kilográmetro. Nada importa ke el desplazamiento se aya berifikado sigiendo un kamino rrekto o sinuoso; ke el desarrollo de este sea de un metro o mucho mayor; ke el lapso de tiempo empleado en la kaída aya sido de un segundo o de kualkier otro balor; ke el mobimiento aya sido uniforme o irregular, al aire libre o dentro de un tubo; etz., etz.: en todo kaso el trabajo total keda determinado, ya se trate del litro de agua indikado para el ejemplo, ya de una masa $Q$ kualkiera, por la diferenzia de potenzial, $H$, eksistente entre las posiziones inizial i final.

Es ebidente ke esa diferenzia de potenzial absoluto—rreferidas las dos posiziones a un punto de oríjen situado a una distanzia 'infinita'—no es otra ke la diferenzia de esas dos posiziones rreferidas a un plano kualkiera konozido, tomado komo oríjen i kombenzionalmente designado komo potenzial zero. De este modo, entre la superfizie libre del agua de un estanke i la estremidad inferior de una kañería ke sirba para llebar el agua por grabitazion a un punto kualkiera, podemos konsiderar

el plano orizontal ke pasa por ese punto komo nibel o potenzial zero. El término *nibel* en su azepzion usual es, pues, ekibalente a *potenzial*, pero sin el sentido altamente jeneralizador de este último.

En rresúmen: la enerjía potenzial de un kuerpo en un punto dado de un kampo de fuerza es el produkto de su masa por el potenzial del punto; para todo propósito de karákter práktiko, el potenzial del punto es simplemente la diferenzia de potenzial entre dicho punto i otro arbitrariamente elejido komo oríjen o rreferenzia.

**57. Ekibalenzias entre el zirkuito idráuliko i otras formas de potenzial zíkliko.** —El potenzial debido a la atrakzion terrestre determina, segun bimos, el nibel, ke gobierna el flujo de las aguas; el potenzial eléktriko determina el flujo de elektrizidad en los konduktores; el potenzial térmiko, o sea la kondizion temperatura, gobierna el flujo de kalor; etz. Prezisamente basándose en una asimilazion entre el flujo eléktriko i el kalorífiko fué komo Ohm llegó a establezer la lei ke lleba su nombre, sobre el estado de korriente kontinua en un konduktor eléktriko. El potenzial eléktriko es de las mismas 'dimensiones' ke $H$, i así komo el agua fluye de puntos de mas alto nibel a otros de inferior nibel, así tambien la elektrizidad fluye por un konduktor (a lo menos esta interpretazion del fenómeno korresponde kon zierta manifestazion de los rresultados) del punto de mas alto potenzial al de mas bajo potenzial. En ambos kasos, para mantener un rréjimen konstante de korriente ai ke mantener trabajo en alguna forma. Es dezir, por los medios pekuliares a kada kaso ai ke mantener

konstante la kondizion ke emos llamado diferenzia de potenzial produktora de la korriente. En ambos kasos, por otra parte, el trabajo destruido es suszeptible de una komun medida, empleándose a tal efekto las mismas unidades 'absolutas' o industriales ke se aplikan a la medizion de la enerjía.

Entre el zirkuito eléktriko i el idráuliko eksisten entonces, analojías de forma, ekibalenzia de kondiziones i asta identidad de rresultados kuando los zirkuitos en aktibidad kombierten la rrespektiba enerjía a una forma komun, *v. gr.* la mekánika. Solo ke la elektrizidad, zienzia mui rreziente, a podido konstituirse sobre un sistema uniforme i konsistente de medidas, en tanto ke la idráulika i otras ramas de la mekánika aplikada no partizipan de igual bentaja para los kálkulos. Se rresienten a este partikular de zierta inkoerenzia de forma, mui natural si se atiende a ke arrankan de un pasado en estremo fekundo para la zienzia, pero ke no puede estimarse sino komo período de formazion ke a benido a kulminar en el gran prinzipio de la unidad i la persistenzia de la enerjía i la materia.

La tendenzia dominante del espíritu moderno se rresuelbe en un kontinuo prozeso de simplifikazion de métodos i doktrinas. Ernst Mach, en un libro bastante orijinal i mui eszéptiko en materia de las doktrinas zientífikas aktualmente azeptadas—i kizá por lo mismo mui sujestibo*—, i Karl Pearson en otro libro del mismo karákter,† esplikan esa tendenzia por una nezesidad sikolójika mui pronunziada en estos dias: la de 'ekonomía de pensamiento.'

* Béase nota p. 11.
† *The Grammar of Science.* Londres 1893.

Bemos así, por ejemplo, komo en el kurso de los últimos diez años muchas noziones sueltas sobre los imanes i el magnetismo en jeneral an podido ser rreduzidas a la nozion única de zirkuito de flujo magnétiko. No obstante la gran diferenzia de kondiziones aparentes, el zirkuito eléktriko i el magnétiko no son sino kasos de potenzial síkliko. Grazias a la indikada simplifikazion i al konozimiento mas íntimo ke se tiene aora sobre las kualidades magnétikas del fierro, muchos kálkulos ke antes estaban solo al alkanze del espezialista, pueden ser oi echos por kualkier estudiante de elektroteknia medianamente aprobechado.

Dentro del órden de ideas antes menzionado, parézenos tiene kabida la tentatiba de unifikazion de los kálkulos idráulikos sobre las kañerías. En el kapítulo anterior emos aplikado el método kuando solo se trataba de la kondukzion del agua; aremos aora otro tanto al tratarse de determinar las kondiziones de gasto, karga i rresistenzia ke korresponden a un rréjimen dado de potenzia motriz de la instalazion.

Puede obserbarse ke, a pesar de aber establezido ke *H*—potenzial de grabitazion en la mayoría de los kasos de mobimiento del agua—es análogo al potenzial eléktriko, segimos empleando, sin embargo, la terminolojía idráulika usual. Esto prueba senzillamente ke la importanzia o el alkanze de una modifikazion kualkiera no deben buskarse tanto en los nombres o palabras usadas, kuanto en las ideas ke kon ellos se desea espresar. *H*, o sea la diferenzia total de nibel, podría llamarse por analojía digamos 'fuerza idromotriz,' del mismo modo ke podría emplearse siempre potenzial por presion o karga, i korriente por gasto; pero la berdad es ke un

kambio ke solo se rrefiere a la forma no tiene mayor importanzia.

IV.— FÓRMULAS JENERALES SOBRE EL TRABAJO I LA POTENZIA.

**58. Deribazion de las fórmulas. Su komparazion kon las fórmulas eléktrikas rrespektibas.**—Se díze ke la *potenzia* o *aktibidad* de un motor es la rrelazion entre el trabajo efektuado por el motor i el tiempo gastado en efektuarlo: en otras palabras la potenzia es, numérikamente, el trabajo en la unidad de tiempo.

Desde este punto de bista, es mui útil komparar las fórmulas idráulikas kon las eléktrikas korrespondientes, deribando unas i otras de las rrespektibas fórmulas fundamentales. En uno i otro kaso designaremos la potenpor $P$:—

| FÓRMULAS ELÉKTRIKAS | FÓRMULAS IDRÁULIKAS |
|---|---|
| *Fundamentales* | *Fundamentales* |
| $C=\frac{E}{R}$, o bien $E=CR$. (42*a*). | $Q^n=\frac{H}{R}$, o bien $H=RQ^n$ (42). |
| $P=CE$ ............ (66*a*). | $P=QH$ ............... (66). |
| *Deribadas* | *Deribadas* |
| $P=C^2R$ .......... (67*a*). | $P=RQ^{n+1}$ .......... (67). |
| $P=\frac{E^2}{R}$ ............ (68*a*). | $P=\frac{H^{\frac{n+1}{n}}}{R^{\frac{1}{n}}}$ ............ (68). |

Las fórmulas (66*a*), (67*a*), i (68*a*), adoptando las unidades práktikas konozidas, dan rresultados direktamente espresables en *watts* o *joules por segundo;* en *kilográmetros* por segundo, multiplikando los watts por el faktor o koefiziente $\frac{100}{g}$ ($g$ en zentímetros); en *kaballos-bapor*, multiplikando los watts por el koefiziente $\frac{1}{746}$ o sea 0·00134; etz.

Las fórmulas idráulikas korrespondientes (66), (67), i (68), dan rresultados direktamente espresables en *kilográmetros por segundo* (si $Q$ se espresa en litros); en *watts* o *joules por segundo*, multiplikando los kilográmetros por el koefiziente $\frac{g}{100}$; en *kaballos-bapor*, multiplikando los kilográmetros por el koefiziente $\frac{1}{76}$; etz.

La fórmula deribada (67) se obtiene sustituyendo en la (66), $H$ por su balor $RQ^n$; i la (68), sustituyendo en la misma, $Q$ por su balor $\left(\frac{H}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$.

El parangon ke prezede, junto kon los antezedentes espuestos en el § 57, demuestran ke las kondiziones son las mismas en ambos kasos, rrespekto de la deribazion de las fórmulas ke relazionan uno i otro zirkuito kon la enerjía. En kualkiera de ellos, los balores numérikos de la potenzia i el trabajo son suszeptibles de espresarse en términos de las mismas unidades, ya sean estas las del sistema C. G. S., ya las eléktrikas o mekánikas de uso industrial.

**59. Ekuazion jeneral de la potenzia.**— $QH = P$ es la potenzia empleada en el zirkuito de

karga total $H$ i gasto $Q$. La diferenzia total de potenzial o karga total $H$, se entiende en 'metros' de agua, i $Q$ en litros; del mismo modo ke en la ekuazion eléktrika korrespondiente $E$ se espresa en volts i $C$ en amperes. A pesar de ke los faktores de la potenzia son de naturaleza tan diberss, los produktos rrespektibos rresultan, sin embargo, espresados en unidades perfektamente komparables entre sí: kilográmetros por segundo en el kaso idráuliko; watts o joules por segundo en el kaso eléktriko. Estas unidades están ligadas por las rrelaziones ke se indikaron en el número anterior, sin ablar de ke tanto las de un zirkuito komo las del otro pueden espresarse en ergs *por segundo*, si se trata de la potenzia, o simplemente en ergs si se trata de la enerjía o kapazidad de trabajo, por ejemplo:—

$$1 \text{ watt} = 10^7 \text{ ergs por segundo,}$$
$$1 \text{ kgmt} = 10^5\,(g) \text{ ergs.}$$

**60. Primera ekuazion deribada.**—Se dijo ke si en $P = QH$ se sustituía $H$ por su balor $RQ^n$, la ekuazion de la potenzia se kombertía en $P = RQ^{n+1}$. Esta espresion rrepresenta el trabajo total absorbido en la unidad de tiempo por el fenómeno de la frikzion de las molékulas líkidas, entre si i kon la superfizie interna del kondukto. Es ebidente ke el trabajo destruido o absorbido se kombierte en kalor, i solo tendría un interés teóriko el aberiguar el kambio de temperatura—inapreziable en todos los kasos, segun es natural presumirlo—ke esperimentaría el sistema 'agua-kañería,' por la menzionada kausa.

Suzede mui distinta kosa rrespekto de la korriente eléktrika; la fórmula $C^2R$ korrespondiente a la antedi-

cha, desempeña un importantísimo papel en los zirkuitos o partes de zirkuito de manifestazion kalorífika. Toda lo enerjía kombertida en kalor se aze sensible por una elebazion mas o menos grande de temperatura en el kondukto, efekto ke puede konfinarse a boluntad a sekzion determinada del zirkuito.

Si en esta primera ekuazion deribada (67) azemos $Q = 1$, se tiene entonzes $P = R$, segun lo kual *la rresistenzia de una kañería es numérikamente igual* (komo análogamente okurre en el kaso de la korriente eléktrika) *a la potenzia nezesaria para muntener en esa kañería la unidad de gasto, o sea* 1 m³.

**61. Segunda ekuazion deribada.**—Supongamos, para mayor klaridad, ke en $P = \frac{H^{\frac{n+1}{n}}}{R^{\frac{1}{n}}}$, el índize $n$ sea 2. En tal kaso, la ekuazion keda $P = \frac{H^{\frac{3}{2}}}{R^{\frac{1}{2}}}$, la ke permite apreziar mas fázilmente la influenzia ke puede ejerzer el balor de la presion total disponible, sobre el monto de la potenzia ke es dado trasmitir por medio de una kañería, a distanzia mas o menos larga.

En el kaso korrespondiente de la trasmision eléktrika se tiene $P = \frac{E^2}{R}$, rrelazion ke nos esplika de una manera inmediata el gran éksito de este sistema. Persiguiendo una ekonomía de metal, la rresistenzia eléktrika $R$ puede aumentarse kuanto sea nezesario, dentro de los límites de rresistenzia a la rruptura ke debe ofrezer un konduktor, sobre todo si es aéreo; en kompensazion, $E$ puede aumentarse, por medio de trasformadores de

alta tension, kuanto se kiera, dentro de límites mui amplios de un perfekto aislamiento. La gran ekonomía de konduktor, rresultante de emplear potenziales elebados, keda manifiesta, puesto ke $P$ kreze proporzionalmente a los kuadrados de las tensiones empleadas, para un balor dado de $R$. O bien, una misma potenzia $P$ puede trasmitirse, al aumentar la fuerza elektromotriz, kon un peso de konduktor imbersamante proporzional al kuadrado de dicha fuerza.

No es tan senzillo apelar a una espediente análogo si se trata de la trasmision idráulika. No es posible en este kaso aumentar de un modo indefinido el balor de $H$ por kuanto, llegado a zierto límite, el espesor de las paredes de los kaños rresulta eszesibo, aunándose así difikultades mekánikas i ekonómikas para azer impraktikable una trasmision idráulika en tales kondiziones.

### V.—DETERMINAZION DE LA POTENZIA MÁKSIMA O DEL RRÉJIMEN DE EKONOMÍA DE LOS KAÑOS.

**62. Kondizion jeneral de trabajo en una kañería.**— Toda korriente de agua mantenida kon rregularidad en una kañería, supone la akzion igualmente rregular de una karga o presion $H$ debida, ora a la grabedad, ora a un esfuerzo artifizial. Si el estremo de salida se alla totalmente abierto a la atmósfera, un manómetro unido a dicha parte del kondukto no akusará presion alguna. Pero, si mediante la bálbula o llabe korrespondiente se obstruye gradualmente la sekzion de salida, entonzes la estremidad de la aguja del manómetro empezará a moberse desde el punto

zero, asta fijarse en zierta dibision de la eskala, ke indikara el balor de $H$ en atmósferas o en kilógramos por zm$^2$.

En la primera kondizion, o sea rréjimen de gasto máksimo, el trabajo *total* en un lapso de tiempo dado, es el mayor posible; solo ke se efektúa interiormente i, por lo tanto, no puede aprobecharse en forma útil. En la segunda kondizion, o rréjimen de rreposo no ai, naturalmente, trabajo de ningun jénero; la enerjía del sistema subsiste, sin embargo, pero en forma potenzial.

Kasi no es nezesario dezir ke entre estos dos estremos, eskojidos de intento, tienen kabida innumerables kondiziones intermedias. Al azer bariar gradualmente el rréjimen de gasto desde zero a $Q$, pasando suzesibamente por la serie de balores $q_1$, $q_2$, $q_3$, ... la presion idrostátika en la estremidad de eflujo baría en konsonanzia *de $H$ a zero*, pasando por los balores korrespondientes $h_1$, $h_2$, $h_3$, ... Simultáneamente kon estos kambios, la potenzia esterna utilizable bariará *desde zero a zero* pasando por la serie de balores intermedios $h_1q_1$, $h_2q_2$, $h_3q_3$, ... de entre los kuales es ebidente ke alguno tiene ke korresponder a un máksimo. La determinazion de este máksimo es punto ke se trata detalladamente mas adelante (§ 64); por el momento nos limitamos a llamar la atenzion azia las Figs. 9, 11, i 12 ke demuestran gráfikamente i kon mucha klaridad todo lo espuesto.

Rresta solo por adbertir ke no se a tomado en kuenta la enerjía kinétika del agua, al dezir ke en rréjimen de gasto máksimo la presion kaía a zero en la salida i ke, por konsigiente, la potenzia era nula. Suzede en realidad ke, si bien la presion idrostátika kae a zero,

kon todo rresta una frakzion utilizable de $H$, en forma de presion idrodinámika (§§ 7 i 36), insignifikante en la gran mayoría de los kasos, o mejor dicho, práktikamente nula. El balor de la potenzia korrespondiente no puede tomarse en kuenta sino kuando se trata de kañerías kortas i belozidades rrelatibamente grandes. Se diskutirá este punto mas adelante (§ 74) komo kaso espezial.

**63. Subdibision de la potenzia total.**— Rrekapitulando lo anteriormente espuesto se tiene:—

El mobimiento del agua en una kañería konstituye un poder motor ke, bajo el rréjimen de belozidad máksima del agua (salbo el kaso espezial aludido en el párrafo último) es absorbido totalmente en la produkzion de trabajo interno inaprobechable; pero ke en todo otro kaso, solo una parte se pierde en esta forma, pudiendo emplearse el rresto en trabajo esterno utilizable.

De modo ke la ekuazion de la potenzia total puede eskribirse,

$$P_t = P_p + P_u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (69),$$

en la ke —

$P_t$ = potenzia total;
$P_p$ = potenzia perdida; i
$P_u$ = potenzia utilizable.

La kañería en sí, el motor idráuliko empleado, i los aparatos ke el motor mantenga en mobimiento para produzir un trabajo dado, forman un konjunto de fuerza rresistente ke aze ekilibrio al esfuerzo motor. Numérikamente, dicho konjunto korresponde al balor ke pueda tener $R$ en la ekuazion de la potenzia $P = RQ^{n+1}$.

Komo esas rresistenzias pueden klasifikarse en dos grupos, a saber: rresistenzias perjudiziales i rresistenzias útiles; i komo de las primeras solamente la frikzion total es apreziable en la gran jeneralidad de kasos, podemos poner (69) en la forma—

$$P_t = (Lr + r_u)\, q^{n+1} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (70).$$

A fin de simplifikar el kaso, inkluiremos en la rresistenzia útil la frakzion de pérdida en el motor idráuliko, de suerte ke—

$$P_p = Lrq^{n+1}$$

rrepresente esklusibamente la potenzia absorbida por la kañería. Un kálkulo sekundario, independiente de la imbestigazion ke partikularmente nos okupa, permitirá fázilmente subdibidir la parte—

$$P_u = r_u\, q^{n+1}.$$

Las kondiziones son las mismas ke en un zirkuito eléktriko de potenzia, en el kual el konduktor absorbe, kalentándose asta zierta temperatura sobre el medio ke le rodea, parte de la enerjía total, ke se kalkula por la lei de Joule. El rresto konstituye la parte útil o utilizable, kon análogas distinziones a las ke akaban de azerse para el kaso idráuliko.

**64. Potenzia máksima korrespondiente a un diámetro determinado.**—De (69) se saka ke la potenzia útil, konsiderada segun akaba de esponerse, tiene por espresion—

$$P_u = P_t - P_p \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (71).$$

El problema konsiste aora, dada las kondiziones

espeziales en ke baría la potenzia en funzion del gasto i de la karga, determinar ke balor debe tener $P_p$ (o sea la pérdida por rresistenzia del kondukto) rrespekto de $P_t$ (o sea la potenzia total), para ke $P_u$ (la frakzion utilizable) sea un máksimo.

Ai bentaja en konsiderar aisladamente los dos faktores $Q$ i $H$, ke konstituyen la espresion jeneral de la potenzia, i aberiguar ke frakzion de $Q$ i kual de $H$ korresponden a un rréjimen de máksimo poder para una kañería de diámetro determinado o, lo ke es lo mismo, de rresistenzia determinada.

Sea $H$ la karga total disponible.

Sea $L$ la lonjitud de la kañería.

Sea $J$ la karga o pérdida de karga por unidad de lonjitud, en el rréjimen de $Q$.

Sea $j$ la karga o pérdida de karga por unidad de lonjitud, en rréjimen $q$.

Por lo tanto, $P_t = Hq$ i $P_p = Ljq$.

Rreemplazando en (71) $P_t$ i $P_p$ por estos balores, se llega a esta otra espresion de la potenzia útil:—

$$P_u \; (= H - Lj)q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (72).$$

Aora bien, de akuerdo kon la fórmula fundamental (42), la pérdida de karga por rresistenzia de frikzion puede eskribirse en el presente kaso—

$$Lj = Lrq^n$$

i, por konsigiente, la ekuazion (72) se trasforma en

$$P_u = Hq - Lrq^{n+1}.$$

Diferenziando kon rrespekto a $q$, e igualando a zero para un máksimo, se tiene—

$$H - (n+1)\,Lrq^{n+1} = 0,$$

de donde—

$$Lrq^n = \frac{H}{n+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (73).$$

Esta espresion nos permite allar el balor de $q_{max}$ en funzion de $Q$; de $Lj$ o $h_{p\,max}$, en funzion de $H$; i, finalmente, de $P_{u\,max}$, en funzion de $QH$.

Sustituyendo, al efekto en (73), $H$ por su balor $RQ^n$ o, lo ke es igual, $LrQ^n$; dibidiendo ambos miembros por $Lr$; i estrayendo tambien de ambos miembros la rraíz $n$, keda—

$$q_{max} = \left\{\frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}}\right\} Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (74).$$

Por konsigiente, *en rréjimen de poder máksimo utilizable, el gasto parzial de una kañería debe ser igual al gasto total $Q$ (sekzion entera del kondukto abierta al aire), multiplikado por un koefiziente de balor* $\frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}}$

Nota.—Si en (74) dibidimos ambos miembros por $\frac{1}{4}\pi D^2$, rresulta—

$$v_{max} = \left\{\frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}}\right\} V \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (75).$$

Segun esto, la belozidad parzial en rréjimen de máksima potenzia guarda rrespekto de la belozidad total, la misma proporzion ke $q_{max}$ guarda a $Q$.

La potenzia total $(= P_p + P_u)$ sería en el kaso de (74), el produkto de esta espresion por $H$, es dezir—

$$P_t = \left\{ \frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}} \right\} QH \quad \ldots\ldots\ldots \quad (76).$$

Aora, rrespekto de la karga: si en la ekuazion (73) bolbemos a poner $Lj (= h_p)$, en lugar del término ekibalente $Lrq^n$, rresulta ke la pérdida de karga ke kombiene a dicho rréjimen de poder máksimo, para un kondukto dado es—

$$h_{p\,max} = \left( \frac{1}{n+1} \right) H \quad \ldots\ldots\ldots \quad (77),$$

dato ke puede serbir para komparar las indikaziones manométrikas, puesto ke la presion efikaz debe ser igual a $H - h_p$.

Tenemos entonzes ke *para ke se berifike la kondizion de máksimo, la pérdida de karga debe ser la frakzion* $\frac{1}{n+1}$ *de la karga total disponible.*

Dibidiendo ambos miembros de (77) por $L$, rresulta la espresion ekibalente, rreferida a la unidad de lonjitud:

$$j_{p\,max} = \left( \frac{1}{n+1} \right) J \quad \ldots\ldots\ldots \quad (78).$$

Puesto ke (77) es la frakzion de $H$ ke kombiene perder para ke $P_u$ sea un máksimo se sige, por lo tanto, ke la parte utilizable tendrá por balor—

$$h_{u\,max} = \left( 1 - \frac{1}{n+1} \right) H \quad \ldots\ldots \quad (79).$$

Multiplikando, aora, miembro a miembro (74) i (77), se obtiene el valor $P_{p\,max} (= q\,h_p)$, ke en la ekuazion (71), aze de $P_u$ un máksimo, a saber:—

$$P_{p\,max} = \left\{\frac{1}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}}\right\} QH \quad \ldots\ldots \quad (80).$$

La espresion de la potenzia máksima útil se obtendrá, entonzes, rrestando (80) de (76) o bien, multiplikando (74) por (70), i es la sigiente:—

$$P_{u\,max} = \left\{\frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}} - \frac{1}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}}\right\} QH$$

o, lo ke es igual—

$$P_{u\,max} = \left\{\frac{n}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}}\right\} QH \quad \ldots\ldots \quad (81).$$

65. **Rrepresentazion gráfika de las kondiziones de potenzia máksima.**—Todas las rrelaziones espresadas por los koefizientes deduzidos en el artíkulo ke prezede, pueden abarkarse en konjunto eksaminando la FIG. 9, en la pájina del frente, figura o diagrama ke por ser de karákter jeneral, es aplikable a kualkiera fórmula.

66. **Balores numérikos de los anteriores koefizientes.**—En toda instalazion idráulika, $Q$ i $H$ son kantidades konozidas o fáziles de konozer, i su produkto rrepresenta la potenzia teórika de la kaída, espresada simbólikamente por $P = QH$. Los balores numérikos de los dibersos koefizientes por ke debe multiplikarse el produkto $QH$, para tener los balores korrespondientes de $P_t$, $P_p$, i $P_u$, dependerán naturalmente de la fórmula empleada en kada kaso; o, prezisando mas el punto, del balor del índize $n$ de la fórmula. Lo mismo da kalkular los koefizientes de $Q$, $H$ i $QH$ ke sirben para espresar en funzion de estos elementos, $q_{max}$, $h_{u\,max}$ i $P_{u\,max}$, rrespektibamente. Komo

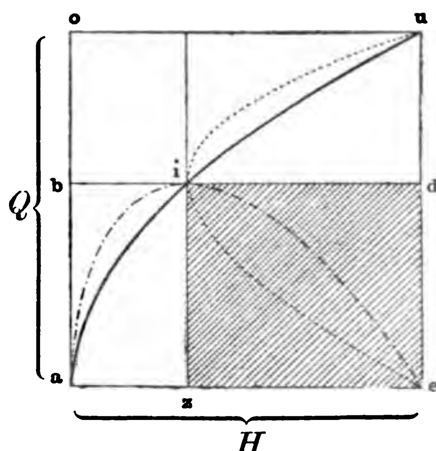



FIG. 9.—DIAGRAMA JENERAL DE LAS RRELAZIONES ENTRE EL GASTO, LA KARGA I LA POTENZIA.

$QH = P$, potenzia total en rréjimen de $Q$; trabajo interno, máksimo posible, rrepresentado por la rresistenzia frikzional; trabajo esterno utilizable (práktikamente) nulo.

*a*, *b*, *d*, *e*, potenzia total, $P_t = \left\{ \frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}} \right\} HQ$, en rréjimen de $q$ *max*.

*a*, *b*, *i*, *z*, potenzia absorbida en trabajo interno, $P_p = \left\{ \frac{1}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}} \right\} HQ$; mismo rréjimen.

*z*, *i*, *d*, *e*, potenzia máksima aprobechable, $P_u\, max = \left\{ \frac{n}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}} \right\} HQ$; mismo rréjimen. Korresponde a la enerjía kinétika del chorro.

*e*, *d*, frakzion $q\, max = \left\{ \frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}} \right\} Q$.

*e*, *z*, frakzion $h_u max = \left\{ 1 - \frac{1}{n+1} \right\} H$.

*a*, *i*, *e*, kurba de todos los balores de la potenzia, en funzion de la karga, desde zero a zero, pasando por un máximo, *z*, *i*.

*e*, *i*, *u*, kurba de todos los balores de la potenzia, en funzion del gasto, desde zero$_e$ a zero$_u$, pasando por un máksimo, *d*, *i*.

estos balores numérikos pueden determinarse una bez por todas, así lo emos echo, konsignándolos en el kuadro ke sige, para índizes de $Q$ o de $V$ komprendidos entre $n = 1{\cdot}75$ komo es el de la fórmula de Flamant, i $n = 2$, komo el de la última fórmula de la gama I–V.

BALORES DE LOS KOEFIZIENTES KE SIRBEN PARA ESPRESAR $q$ *max*, $h_u$ *max* i $P_u$ *max*, EN FUNZION DE $Q$ i $H$.

| ÍNDIZE | $q$ *max* | $h_u$ *max* | | $P_u$ *max* |
|---|---|---|---|---|
| | Koefiziente de $Q$ | Koefiziente de $H$, komo multiplikando | Koefiziente de $H$, komo sustraendo | Koefiziente de $QH$ |
| n | $\left\{\frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}}\right\}$ | $\left\{1-\frac{1}{(n+1)}\right\}$ | $\left\{\frac{1}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}}\right\}$ | $\left\{\frac{n}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}}\right\}$ |
| 1.75 | ·561 | ·6364 | ·2040 | ·3570 |
| 1·8 | ·564 | ·6428 | ·2015 | ·3625 |
| 1·85 | ·568 | ·6491 | ·1993 | ·3687 |
| 1·9 | ·571 | ·6552 | ·1970 | ·3751 |
| 1·95 | ·574 | ·6610 | ·1950 | ·3794 |
| 2 | ·577 | ·6666 | ·1920 | ·3850 |

**67. Kurbas del gasto en su rrelazion kon el rréjimen de mayor potenzia.**—Kon el propósito de apreziar de un modo práktiko el signifikado de las rrelaziones ke prezeden, elijamos komo ejemplo partikular demostratibo una kañería de diámetro $D = 0^{m}.300$. Agamos estensibo el kaso a otras kañerías del mismo diámetro pero de diferente rresistenzia o aspereza interna, ateniéndonos a este efekto a la gama o eskala de fórmulas I–V, la kual pareze kubrir todos los

kasos posibles dentro de los límites de la práktika usual.

La Fig. 10 rrepresenta las zinko kurbas kalkuladas segun las zinko indikadas fórmulas. A mas, en línea

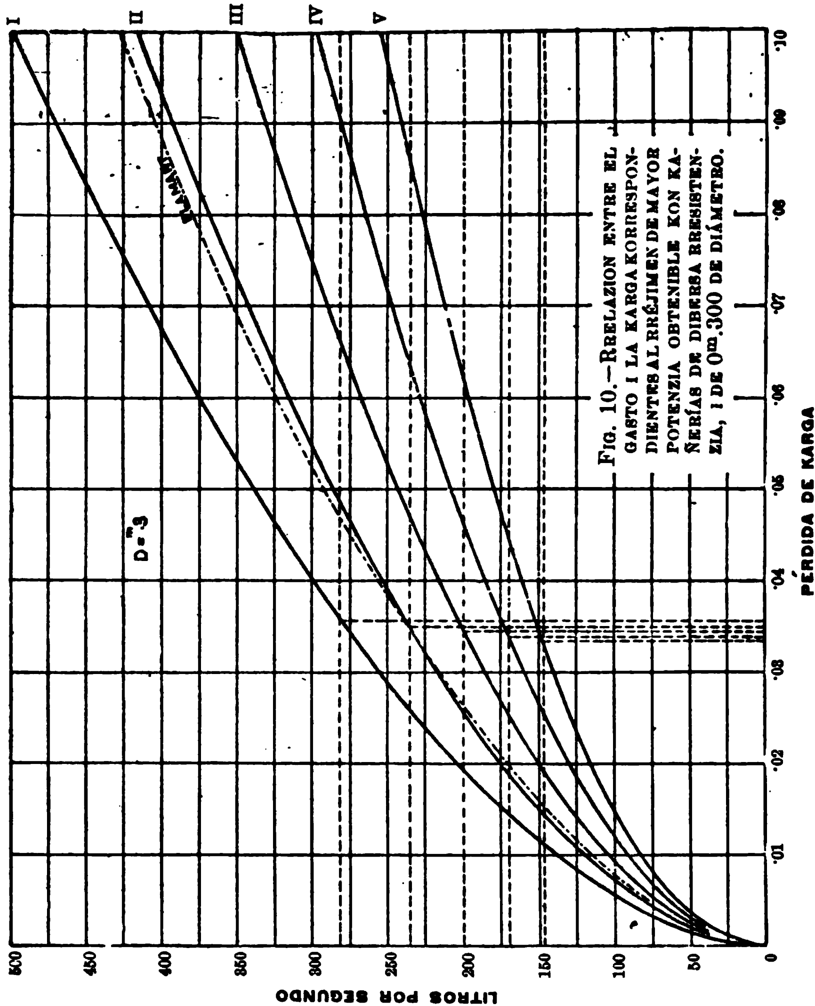



Fig. 10.—Rrelazion entre el gasto i la karga korrespondientes al rréjimen de mayor potenzia obtenible kon kañerías de dibersa rresistenzia, i de $0^m.300$ de diámetro.

de puntos i por bía de komparazion, se inkluye la kurba korrespondiente a la fórmula de Flamant. Segun puede berse, koinzide esta sensiblemente kon la Fórm. II, para el diámetro indikado de $0^m.300$, i dentro del límite de pérdida de karga $\frac{H}{L} = 0{\cdot}1$, asta donde se a estendido el kálkulo. Los balores indikados por las kurbas de esta figura pueden konfrontarse kon los numérikos de la TABLA I.

Los rrektángulos de líneas de puntos, inskritos en los dibersos segmentos de parábolas, korresponden a la rrejion *z*, *i*, *d*, *e*, del diagrama jeneral (FIG. 9), es dezir a la frakzion utilizable de la potenzia total.

**68. Kurbas de la potenzia, en funzion del gasto i de la karga.**—La FIG. 11 kontiene, siempre rrespekto del mismo diámetro i de los mismos grados de rrugosidad, las zinko kurbas de los balores de la potenzia, korrespondientes a las kurbas del gasto de la figura ke prezede. Las del diagrama aktualmente konsiderado probienen de rrepresentar komo ordenadas los balores de todos los rrektángulos ke es posible inskribir en los segmentos de parábolas de dicha FIG 10, i de los kuales rrektángulos ai nezesariamente uno máksimo. La koinzidenzia de zirkunstanzias, rrespekto de los gastos i de las kargas, puede fázilmente berifikarse komparando ambos diagramas.

Estas kurbas de la potenzia komparatiba, para dibersas kondiziones de rrugosidad de kañerías de un mismo diámetro, permiten ber ke la diferenzia de efikazia máksima no es tan insignifikante entre uno i otro kaso. Rrepresentando, en efekto, por la unidad el mayor poder obtenible kon una kañería de $0^m.300$ i de rrugosi-

dad korrespondiente a $n = 2$ (kurba V), se tiene ke el rrendimiento, en las mismas kondiziones, de una kañería de rrugosidad media, korrespondiente a $n = 1{\cdot}9$, es

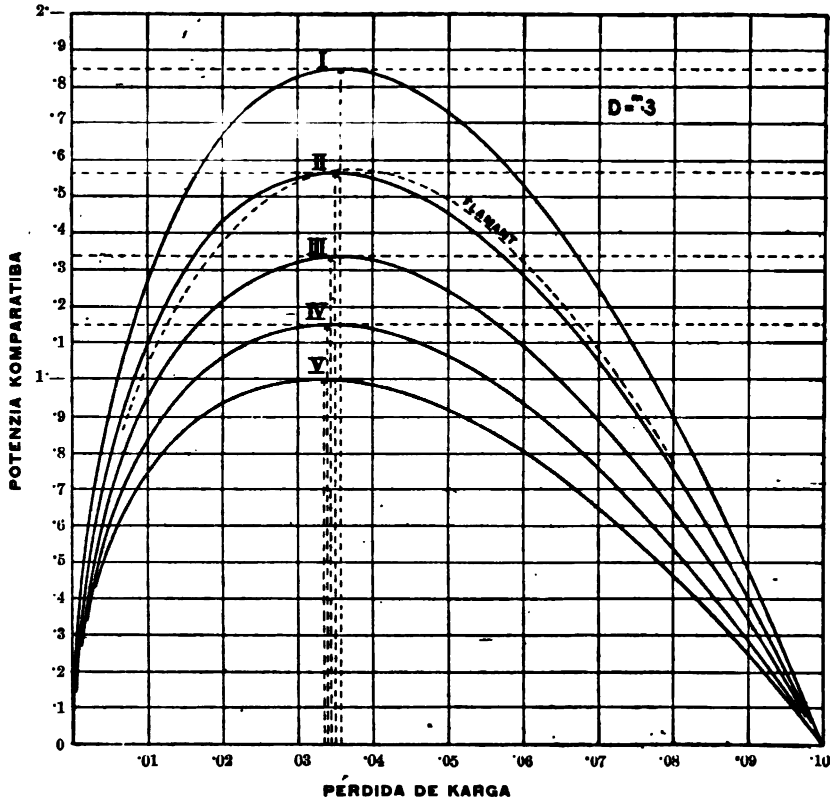



FIG. 11.—KOMPARAZION, EN FUNZION DE LA KARGA, DE LAS POTENZIAS OBTENIBLES KON UN MISMO DIÁMETRO, SEGUN DIBERSOS KOEFIZIENTES DE RRUGOSIDAD.

superior en mas de 30 %. La misma proporzionalidad rrije sensiblemente para kualkier otro diámetro de los usados en la práktika; por manera ke el diagrama pue-

de konsiderarse de aplikazion jeneral. Dicho diagrama permite, pues, estimar kuantitatibamente a primera bista, la importanzia ke debe atribuirse a la buena

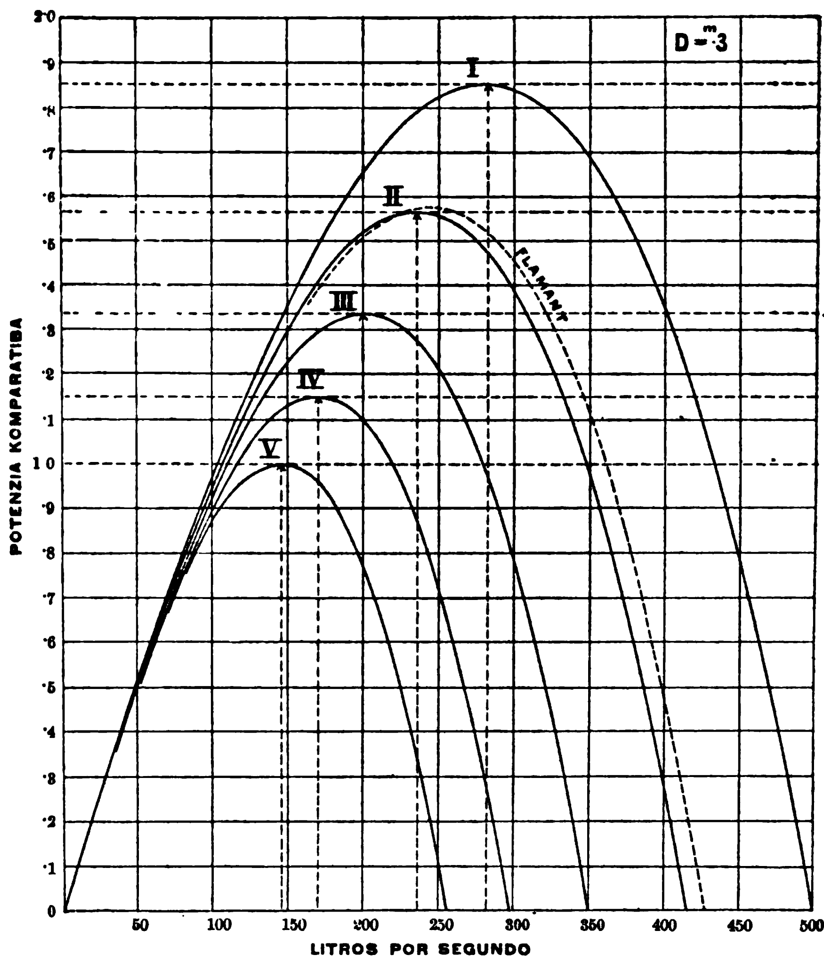



FIG. 12.—KOMPARAZION, EN FUNZION DEL GASTO, DE LAS POTENZIAS OBTENIBLES KON KAÑOS DEL MISMO DIÁMETRO PERO DE DIBERSA RRUGOSIDAD.

kondizion de los kaños en una instalazion de potenzia idráulika.

La FIG. 12 kompleta la serie de aspektos bajo los kuales merezen estudiarse las rrelaziones ke nos okupan. Las kurbas I a V korresponden a las de la figura anterior, solamente ke están kalkuladas en funzion del gasto en bez de $J$ o $H$. Sirben para el presente kaso las mismas konsideraziones ke se izieron tokante a la influenzia komparatiba de los dibersos koefizientes de rresistenzia frikzional.

## VI.—ALGUNAS KONSEKUENZIAS PRÁKTIKAS KE SE DERIBAN DE LOS KÁLKULOS SOBRE LA POTENZIA.

**69. Obserbaziones ke deben tenerse en kuenta para los serbizios kombinados.**— De akuerdo kon los balores de la segunda kolumna del kuadro último (p. 132), puede dezirse de un modo jeneral ke, kuando una kañería de agua unida a un motor *ad hoc* funziona en las kondiziones mas faborables de rrendimiento komo instalazion de potenzia, el gasto $q_{max}$ no alkanza al 60 % (entre 56 i 58 %, segun el kuadro) del gasto $Q$ de la misma kañería. Sábese ke este último rréjimen korresponde al de total abertura de la sekzion del kondukto, i al de kompleta absorzion de $H$—eszepto la pekeña frakzion $h_v$—por las dibersas kausas rretardatrizes del mobimiento.

El dato es mui importante al tratarse de un serbizio kombinado de fuerza motriz i de distribuzion de agua, bien sea esta destinada a la irrigazion, bien a usos doméstikos o industriales. Si la kañería a sido kalkulada para un gasto $Q$, ke es nezesario utilizar por kompleto,

aunke en kasos semejantes sabemos ya ke la presion final es nula (komo suzede al llebar el agua direktamente a estankes o depósitos, o al aprobecharla, por ejemplo, en la irrigazion de terrenos bajos), es klaro entonzes ke no ai potenzia utilizable esteriormente, desde el momento ke uno de sus faktores es zero, o práktikamente zero: toda la enerjía del sistema es absorbida por la frikzion interna.

Aora bien, si kon la misma kañería se kiere produzir zierto trabajo útil, kombinándola al efekto kon un motor apropiado, ai ke tener presente la manera en ke dekreze $Q$, a medida ke aumenta $h_u$, o sea la frakzion de karga aprobechable. Es ebidente ke en tal kaso la obtenzion de potenzia implika una rredukzion inadmisible de la kantidad de agua ke se aya kalkulado komo mínimo. Por lo tanto, en un serbizio ke tenga el doble karákter indikado el diámetro i, en konsekuenzia el kosto total de la kañería, tienen ke ser mayores ke en el kaso de simple kondukzion del agua, sin presion alguna. El kálkulo de ese diámetro ai ke azerlo konsiderando ke $Q$—el mero derrame—pasa a ser $q_{max}$ o simplemente $q$; es dezir, la misma kantidad de agua por segundo, pero en el nuebo kaso bajo una karga efikaz a la llegada, komo de los dos terzios de $H$ para el rréjimen de máksima potenzia. El aumento de diámetro se impone entonzes ineludiblemente, komo úniko medio de dar mayor balor ke zero al otro faktor de $P$.

**70. Rrelazion entre la karga útil i la rresistenzia mekánika de los kaños.**—Otra konsekuenzia de karákter práktiko es la ke se desprende de la terzera kolumna de balores del mismo kuadro. Antes bimos ke el kosto de una kañería aumentaba, por kausa de aumento del diámetro, kuando para un

mismo bolúmen de agua konduzida se agregaba la nezesidad de disponer de zierta presion, disminuyendo a ese fin la belozidad. Debe tenerse presente, ademas, ke no solamente aumenta el diámetro, sino tambien el espesor de las paredes de los kaños, en mayor proporzion ke si se tratase únikamente de konduzir un mayor kaudal, sin karga apreziable a la llegada.

Kuando el derrame es kompletamente libre, por grande ke sea el balor de $H$ o de la rrelazion $\frac{H}{L} = J$, los kaños no se allan sometidos a ningun esfuerzo anormal ke ponga a prueba su rresistenzia mekánika. Pero, si kon la kañería ai kombinado un motor idráuliko—rrueda Pelton o turbina Girard, digamos—entonzes las kondiziones kambian de aspekto por kompleto. Se a bisto ke en rréjimen de potenzia máksima, ke no es el de mayor presion, la karga korrespondiente es mas o menos igual a $\frac{2}{3} H$; i, si $H$ alkanza a 100, 200 o mas metros, ai ke azer frente a presiones de 10, 20 kg. por zm. Por otra parte, kuando no se alla de por medio la ekonomía de los kaños sino prinzipalmente la del kaudal de agua disponible, la presion puede entonzes llegar a ser mayor ke la del rréjimen antedicho, por lo mismo ke se trata de utilizar si es posible el entero balor de $H$, disminuyendo al efekto la pérdida de karga mediante un aumento del diámetro.

En lo ke prezede se a supuesto la kañería kolokada kon una pendiente rreal i efektiba, de tal suerte ke toda manifestazion de presion ba kreziendo desde el mas alto al mas bajo nibel. Las mismas obserbaziones sobre la rresistenzia mekánika de los kaños son aplikables al kaso de una kañería orizontal, bajo una presion

de entrada, *H*, ke puede ser mas o menos konsiderable. Para el rréjimen de gasto a toda bálbula, la anterior kondizion del kondukto implika una presion efikaz kreziente, desde zero, en el estremo de salida, asta *H*, en el de entrada del agua.

**71. La belozidad i los golpes de ariete.**— En toda larga kañería, por pekeña ke sea la inklinazion de la gradiente idráulika, *H* puede ser mui grande en balor absoluto. Por tal motibo, a fin de aminorar los efektos de los golpes de ariete, las belozidades admisibles en la práktika son rrelatibamente mui rreduzidas. Sobre este punto kabe obserbar desde luego ke, aunke zierta belozidad media del agua en un kondukto *pueda no ser* demasiado grande bajo el konzepto del rrendimiento, sin embargo *puede ser* demasiado grande desde el punto de bista mekániko, konsiderado en el número anterior. Esto último se esplika por la biolenzia a ke, en ziertas kondiziones, pueden llegar los dichos golpes de ariete.

Flamant, en su tratado de idráulika,* señala las sigientes rrelaziones entre los diámetros de los kaños i las máksimas belozidades admisibles para kada kaso, ateniéndose a los rresultados de la esperienzia en esta materia:—

| Diámetro | Belozidad máksima por segundo | Diámetro | Belozidad máksima por segundo |
|---|---|---|---|
| m | m | m | m |
| 0·10 | 0·75 | 0·40 | 1·25 |
| 0·15 | 0·80 | 0·50 | 1·40 |
| 0·20 | 0·90 | 0·60 | 1·60 |
| 0·25 | 1· | 0·80 | 1·80 |
| 0·30 | 1·10 | 1· | 1· |

* Ob. zit., p. 156.

Es manifiesto ke estos límites se aplikan mas bien a las kañerías de fierro fundido, ke se usan jeneralmente en la distribuzion de agua potable, i ke por lo jeneral no son destinadas a soportar grandes presiones. Basta rrekordar, tokante a este punto, ke en las pruebas no son sometidas a presiones mayores de 8 a 10 atmósferas, para el kaso ke en serbizio korriente no tengan ke soportar sino komo la mitad de esas presiones.

Pero, kuando se usan kaños de fierro fundido, de paredes mui gruesas, o bien kaños de fierro o de azero laminados, de kombeniente espesor,—komo para los kasos de trasmision idráulika de potenzia—es indudable ke entonzes pueden admitirse, sin inkombeniente, belozidades límites mucho mayores ke las indikadas en el kuadro último. Se entiende ke esto es solo aplikable a kasos espeziales, kuando se adopten todas las prekausiones ke rrekomienda la prudenzia, komo ser bálbulas de seguridad (de rresorte), bálbulas de kontrapresion por si estalla algun kaño, etz.

La berdad es ke sobre esta materia no ai mucho de fijo. Lo ke, por lo tanto, kombiene tener presente para los kálkulos del espesor, son los rresultados de las imbestigaziones ke se an echo para determinar la presion ke se produze al detener rrepentinamente la masa de agua en mobimiento dentro de un kondukto rríjido i ermétiko.

El profesor Perry,* ke a echo una laboriosa imbestigazion sobre el asunto, demuestra ke en una kolumna fluida ke se mueba kon una belozidad de $V$ zentímetros por segundo, al ser rrepentinamente detenida, se desarrolla una onda de kompresion, ke se trasmite a lo largo de la

* Béase Blaine, ob. zit. p. 188.

kolumna kon la belozidad del sonido en dicho fluido.

La fórmula, suponiendo se trate del agua, kuya densidad puede tomarse komo 1, es la sigiente:—

$$A = VM^{\frac{1}{2}}$$

En ella se tiene:—

$A$, inkremento ke esperimenta la presion, espresada en dinas por $zm^2$.

$V$, belozidad del agua en zm. por segundo.

$M$, módulo de elastizidad kúbika de la misma, i kuyo balor es $2 \times 10^{10}$ dinas por $zm^2$.

En la práktika se usa el kilógramo por $zm^2$, i tambien la atmósfera, komo unidades de presion, en lugar de la dina o la megadina, unidad esta última ke sería akaso mas rrazional usar; i komo unidad de belozidad por segundo, el metro en lugar del zentímetro.

La fórmula es, en tal kaso,

$$A = (V \times 14{\cdot}43) M^{\frac{1}{2}} \text{ kg por zm}^2 \ldots\ldots (82);$$

o bien,

$$A = (V \times 13{\cdot}84) M^{\frac{1}{2}} \text{ atms.} \ldots\ldots\ldots (83).$$

Se a kalkulado la pekeña tabla aneksa para zierto número de belozidades. Los últimos balores de ellas sobrepujan, komo puede berse, las belozidades jeneralmente adoptadas en la práktika. Fuera de esto, no debe olbidarse ke los rresultados de la fórmula se rrefieren al kaso teóriko de una suspension instantánea del mobimiento i, además, a una kondizion de absoluta rrijidez del kondukto. Ni una ni otra kosa puede okurrir en los kasos práktikos; así ke, los inkrementos de pre-

sion anotados en la tabla komo korrespondientes a ziertas belozidades, deben eszeder a los ke rrealmente rresultan de los golpes de ariete, kon esas mismas belozidades. Adoptando, en konsekuenzia, dichos rresulta-

AUMENTO TEÓRIKO DE PRESION PRODUZIDO POR LA RREPENTINA DETENSION DEL MOBIMIENTO DEL AGUA EN UNA KAÑERÍA.

| Belozidades en metros por segundos | Megadinas por zm.² | Kilógramos por zm.² | Atmósferas |
|---|---|---|---|
| 0·50 | 7 | 7 | 6·9 |
| 1· | 14 | 14 | 13·8 |
| 1·50 | 21 | 22 | 20·7 |
| 2· | 28 | 29 | 27·7 |
| 2·50 | 35 | 36 | 34·7 |
| 3· | 42 | 43 | 41·5 |
| 3·50 | 49 | 50 | 48·4 |
| 4· | 57 | 58 | 54·2 |
| 4·50 | 64 | 65 | 62· |
| 5· | 71 | 72 | 69· |

dos para los kálkulos de las bálbulas i de la rresistenzia máksima de los kaños a la rruptura, de echo se inkluye un márjen o koefiziente de seguridad, ke no debe apartarse mucho del ke preskribiría la prudenzia para kasos komo el ke nos okupa.

**72. Kálkulos del espesor de los kaños.***— Los kaños ke se emplean en las instalaziones de fuerza

* Las fórmulas ke sigen se konsignan prinzipalmente kon el objeto de fazilitar un kálkulo aproksimado sobre el peso de la kañería de una instalazion, i por lo tanto sobre el kosto de la misma kañería, para los fines ke se indikan en el § sigiente. Para un

idráulika pueden dibidirse, en jeneral, en tres klases prinzipales: 1) kaños de fierro fundido; 2) de fierro laminado; i, 3) de azero laminado.

Para el fierro fundido puede emplearse la fórmula—

$$E = 10 + 0{\cdot}0012 Dp, \quad \ldots\ldots \quad (84),$$

en la kual:—

$E$, espesor en milímetros,

$D$, diámetro en milímetros,

$p$, presion en atmósferas.

Así, por ejemplo, para $p = 25$ atm$^{s}$., o zerka de 26 kg por zm$^{2}$—

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $D =$ | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| $E =$ | 13 | 14·5 | 16 | 17·5 | 19 |

A esta klase de kaños, se rrefiere la TABLA VIII.

Para los kaños de fierro laminado, kon doble rremache .·.·.·., puede serbir la fórmula—

$$E = \frac{PD}{840}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (85)$$

proyekto de ejekuzion, es kombeniente konfrontar los rresultados azerka del espesor de los kaños, obtenidos por el kálkulo, kon datos feazientes sobre instalaziones ya en serbizio o por llebarse a kabo. A este propósito, entre muchos ejemplos ke prodríamos zitar komo rreferenzia, se enkuentra la instalazion de la Kompañía Anónima de Trasmision eléktrika de Potenzia en el Estado de Idalgo, a 160 km. al norte de la ziudad de Méjiko. Para una kaída de 243 'metros', o sea una presion komo de 24 kg por zm$^{2}$, los kaños de llegada, destinados a soportar esa presion máksima, son de azero laminado, kon rremaches; para un diámetro de 760 mm, su espesor es de 18 mm.

Otro kaso: para la probision de agua de Birmingham, se adoptarán grandes kaños soldados, de azero dulze Siemens Martin, de 1$^{m}$.65 de diámetro i 7$^{m}$.30 de largo. Los kaños destinados a soportar la mayor karga tendrán 17 mm de espesor, para una presion *de prueba*, de 42 kg por zm$^{2}$.

en la kual $E$ i $D$ en milímetros i $P$ en atmósferas.

Por ejemplo, kon $P = 10$ atmósferas—

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $D = 400$ | 500 | 600 | 800 | 900 | 1000 |
| $E = 5$ | 6 | 7·5 | 10 | 11 | 12 |

Finalmente para kañerías de azero laminado, kon doble rremachado lonjitudinal, se tiene la fórmula, kon $E$ i $D$ en milímetros i $P$ en atmósferas—

$$E = \frac{PD}{1680} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (86).$$

Por ejemplo, kon $P = 40$ atmósferas—

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $D = 400$ | 500 | 600 | 700 | 800 |
| $E = 9·5$ | 12 | 14·3 | 16·7 | 19 |

Para el kaso de kaños de azero soldados en bez de rremachados, puede adoptarse la fórmula (86), kon denominador 2 700.

Fuera de los kaños enumerados, se emplean aktualmente en la industria ziertas klases espeziales de kaños de azero, komo ser los Mannesmann, los de láminas en espiral, etz., fabrikados es-profeso para trasmisiones idráulikas a grandes presiones. Segun se kolije de las TABLAS VIII i IX son mucho mas rresistentes ke lo ke indikaría la esplikazion de la fórmula anterior.

Abría ke agregar todabía los konduktos no metálikos, komo por ejemplo los de madera. Estos últimos se usan kon mui buen éksito pues, a parte de su menor kosto, ofrezen menos rresistenzia por rrozamiento. Entre las aplikaziones de este jénero mereze zitarse la de la instalazion de potenzia The Pioneer Electric Power

Company, de Ogden, Utah, Estados Unidos. De los 9 600 metros de kondukto de $1^m.83$ de diámetro, 8 325 son de tubos de madera. La mayor presion idrostátika ke estos soportan llega a mas de 36 'metros' o sean 3·6 kg por $zm^2$, lo ke no es insignifikante.

Faltan datos prezisos para el kálkulo del espesor de esta klase de kondukto i de otros no metálikos ke pueden emplearse en la kondukzion del agua bajo presion.

## VII. KASOS ESPEZIALES.

**73. Kasos en ke la premisa ekonómika no es aplikable sino komo rreferenzia.**— Por rregla jeneral i en birtud de los diversos motibos ke se an espuesto, la konsiderazion del diámetro es la ke prebaleze sobre kualkiera otra en los problemas rrelatibos a la potenzia ke puede desarrollar o trasmitir una kañería de agua. Kasos ai, sin embargo, en los kuales no se puede o no es kombeniente adoptar el rréjimen de potenzia máksima, tomando como única base la ekonomía de los kaños. Dichos kasos pueden presentarse:

1) Kuando la belozidad rresultante para ese rréjimen es superior a la ke se juzga prudente adoptar komo límite, dadas las kondiziones de rresistenzia mekánika de la kañería.

2) Kuando el kaudal de agua es limitado i se nezesita en kompensazion utilizar la mayor frakzion posible de $H$, a fin de konsegir mayor potenzia mediante un aumento de diámetro i konsigiente rredukzion de belozidad i de la pérdida por frikzion.

Si, de akuerdo kon la primera de estas kondiziones ubiera nezesidad de sujetarse a una velozidad límite $v$—ke puede o no koinzidir kon $v_m$—es indiferente emplear el método jeneral ke se a indikado, o bien un kálkulo direkto partikular.

Por ejemplo, si en (72) dibidimos ambos miembros por $\frac{1}{4}\pi D^2$, tendremos—

$$\frac{P_u}{\frac{1}{4}\pi D^2} = (H - I_j)r,$$

ekuazion ke permite determinar $P_u$, konozidos $v$ i $D$; o bien $D$, konozidos $P_u$ i la belozidad ke se komienza por fijar.

Sin embargo, tanto para el primero komo para el segundo de los kasos enunziados, bale mas prozeder konforme lo indikan los kuadros A i B de la buelta. Lo ke se nezesita aberiguar es de ke modo baría $D$, al introduzir kualkiera alterazion en las kondiziones korrespondientes al rréjimen de $P_{max}$. Puede efektuarse la alterazion bariando $q$ i kedando konstante $P$ komo balor numériko, pero sin el karákter de potenzia máksima, rrespekto de todo nuebo balor del diámetro; o bien, bariando $P$, kedando konstante $q$, en forma análoga a la anterior.

Por ejemplo, sean:—

$D = 0^m.300$,

$H = 3\,000$ m,

i $Q = 0{\cdot}350$ m$^3$, en el supuesto ke la kañería korresponda a la Fórm. III.

$\therefore P_m = 0{\cdot}374\ QH$ o sean 39 260 kgm. por segundo;

$v_m = 2^m.83$.

A.—RRELAZION ENTRE EL AUMENTO DEL DIÁMETRO I LA RREDUKZION DE LA BELOZIDAD KORRESPONDIENTE AL RRÉJIMEN DE POTENZIA MÁKSIMA.—*P konstante, q bariable.* (Ejemplo segun Fórm. III).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 7 | | OBSERBAZIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P$ | $Lj$ | $H-jL$ | $q$ | $r$ | $d$ | | $v$ | | |
| Kgmts. por segundo | Metros | Metros | Litros | — | Metros | Aumento | m. por segundo | Rredukzion | |
| 0 | 300 | 0 | 350($Q$) | ·7353 | ·300 | — | 4·952 | — | Kondizion de gasto máksimo |
| 39260 | 103.44 | 196.56 | 200($q_m$) | ·7353 | ·300 | — | 2·830 | — | Kondizion de potenzia máksima |
| ,, | 80 | 220 | 178 | ·7047 | ·303 | 1% | 2.480 | 12% | |
| ,, | 60 | 240 | 164 | ·6234 | ·310 | 3,, | 2·163 | 24,, | |
| ,, | 40 | 260 | 151 | ·4840 | ·327 | 9,, | 1·800 | 36,, | |
| ,, | 20 | 280 | 140 | ·2795 | ·366 | 22,, | 1·334 | 53,, | |
| ,, | 10 | 290 | 135 | ·1489 | ·416 | 39,, | ·998 | 65,, | |
| ,, | 5 | 295 | 133 | ·0769 | ·475 | 59,, | ·749 | 74,, | |
| ,, | 4 | 296 | 132·6 | ·06195 | ·497 | 66,, | ·684 | 76,, | |
| ,, | 3 | 297 | 132 | ·04674 | ·526 | 76,, | ·607 | 79,, | |
| ,, | 2 | 298 | 131·7 | ·03139 | ·571 | 95,, | ·514 | 82,, | |
| ,, | 1 | 299 | 131 | ·01578 | ·657 | 120,, | ·387 | 86,, | |
| ,, | 0 | 300 | 130·9 | ·00000 | — | — | — | — | Kondizion irrealizable |

B.—Rrelazion entre el aumento del diámetro i el aumento de potenzia sobre el rréjimen de $P_m$.—*q konstante, P bariable.* (Ejemplo segun Form. III).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 7 | | OBSERBAZIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *q* | *Lj* | *H—Lj* | *r* | *v* | *d* | | *P* | | |
| Litros | Metros | Metros | — | m por segundo | Metros | Aumento | Kgmts. por segundo | Aumento | |
| 350 | 300 | 0 | ·7353 | 4·952 | ·300 | — | 0 | — | Kondizion de gasto máksimo |
| 200 | 103·44 | 196·56 | ·7353 | 2·830 | ·300 | — | 39260 | — | Kondizion de potenzia máksima |
| „ | 80 | 220 | ·5676 | 2·546 | ·316 | 5 % | 44000 | 12 % | |
| „ | 60 | 240 | ·4257 | 2.263 | ·335 | 12 „ | 48000 | 22 „ | |
| „ | 40 | 260 | ·2838 | 1·918 | ·364 | 21 „ | 52000 | 32 „ | |
| „ | 20 | 280 | ·1419 | 1·445 | ·420 | 40 „ | 56000 | 43 „ | |
| „ | 10 | 290 | ·07094 | 1·089 | ·483 | 61 „ | 58000 | 48 „ | |
| „ | 5 | 295 | ·03547 | ·821 | ·557 | 86 „ | 59000 | 50 „ | |
| „ | 4 | 296 | ·02838 | ·749 | ·583 | 94 „ | 59200 | 50·8 „ | |
| „ | 3 | 297 | ·02128 | ·666 | ·618 | 106 „ | 59400 | 51 „ | |
| „ | 2 | 298 | ·01419 | ·565 | ·671 | 124 „ | 59600 | 51·8 „ | |
| „ | 1 | 299 | ·00709 | ·426 | ·773 | 158 „ | 59800 | 52 „ | |
| „ | 0 | 300 | ·00000 | — | — | — | — | — | Kondizion irrealizable |

Se kiere saber en kuanto por ziento aumenta $D$, en funzion del % de rredukzion de $v_m$.

Al permanezer inalterables las otras kondiziones, toda bariazion de la belozidad dependerá del balor ke tenga la total pérdida de karga $h_p$ ($= Lj$) o, si se kiere, del ke tenga la karga aprobechada $h_u$ ($= H - Lj$). Para rresolber la anterior kuestion, se asigna a kualkiera de estos términos una eskala de balores, dekrezientes de $H$ a zero en el primer kaso, o kreziente de zero a $H$, en el segundo.

En el kuadro A, supónese konstante $P_u$, o sea $P_{max}$ kuando ($H - Lj$) bale 196·56 'metros'. Aora bien, si en lugar de los 196·56 'metros' únikamente aprobechados a fin ke una kañería de 0$^m$.300 de diámetro rrinda el máksimo de poder, se supone aumentando este faktor de $P_u$ a 'metros' 220, 240, 260, ... entonzes los balores korrelativos de $q$ (kolumna 4) serán en litros: 178, 164, 151 ..., puesto ke—

$$q = \frac{P}{(H - Lj)}.$$

Se deduze en segida $r$, o sea la rresistenzia por unidad de lonjitud, por medio de la fórmula rrespektiba—

$$r = \frac{H}{LQ^n}.$$

Obtenida la rresistenzia (kolumna 5) se puede deduzir el balor de $D$, ya sea por medio de la TABLA II (Fórm. III para el presente kaso), ya por medio de la fórmula (49).

Por fin, konozidos $q$ i $D$ (kolumnas 4 i 6), se determina $v$ (kolumna 7) por la fórmula—

$$v = \frac{q}{\frac{1}{4}\pi D^2}.$$

Las korrespondientes bariaziones en tanto por ziento obtiénense aziendo las rredukziones del kaso, kon los balores numérikos rresultantes.

En el ejemplo, el balor $v_m$ es de $2^m.83$. Supongamos aora ke, no obstante ser esta la belozidad mas ekonómika, ubiera por kualkier motibo ke sujetarse (sin alterar el balor de la potenzia) a $v = 1^m.8$. Ekibale esto a una rredukzion de 36%, i entonzes el kuadro nos indika ke el diámetro debe ser a tal propósito aumentado en 9%. Etz.

De mayor importanzia es el kuadro B, kalkulado de un modo enteramente parezido al anterior. Korresponde el ejemplo a este kaso jeneral ke se presenta en la práktika (kuando no eksiste aun kañería, o no ai zirkunstanzia alguna ke imponga un diámetro determinado):—¿Ke diámetro es nezesario para obtener la mayor potenzia kon un kaudal limitado de $q$ litros por segundo, kaudal ke es menester aprobechar del mejor modo posible?

Si el balor de un kondukto—sobre todo de un largo kondukto—, i si el kosto de su kolokazion, etz., no aumentaran, komo en rrealidad aumentan, por lo menos en la misma proporzion ke el diámetro de los kaños usados, es klaro entonzes ke la soluzion del problema se reduziría al empleo de los mayores diámetros posibles; de esta suerte, para un balor konstante del gasto, la belozidad tiende a azerse nula i kon ella tambien, komo konsekuenzia, la pérdida de karga por frikzion:

praktikamente, en brebes términos, puede llegarse kasi, al rresultado ideal $P_u = qH$.

No siendo posible rrealizar esta kondizion de diámetro ilimitado, ai ke partir de la base del diámetro korrespondiente al rréjimen ke se a designado komo de máksima potenzia, diámetro ke, por lo mismo, será el menor ke pueda emplearse kuando se kiera aprobechar en su totalidad el kaudal de agua disponible.

Dicho kuadro B i la kurba *q konstante*, *P bariable* de la Fig. 13 demuestran de ke manera, a kontar del oríjen rreferido, baría el diámetro en funzion de un mayor aprobechamiento del kaudal; o, lo ke biene a ser lo mismo, de la frakzion utilizable de $H$, rreduziendo a este fin la frakzion de pérdida $\left(=\frac{1}{n+1}H\right)$ korrespondiente al rréjimen de mayor efikazia de los kaños.

Esta fase del problema es puramente ekonómika. Desde el momento ke se dejan a un lado las kondiziones ke rresponden al menor kosto de la kañería, a fin de obtener mayor potenzia útil grazias a un sakrifizio de ese jénero, la kuestion se reduze a kalkular para kada kaso determinado (puesto ke no puede aber rregla jeneral al rrespekto) lo sigiente:—¿Kual es el límite en ke se estableze kompensazion entre lo ke sakrifika por un lado i lo ke se obtiene por el otro?

Suelen ser mui komplejos los elementos ke pueden influir en uno o en otro sentido; pero, komo rregla de karákter jeneral puede aplikarse la ke rrije para toda instalazion mekánika o de trasformazion de enerjía. Partiendo, así, de la base de ekonomía ke se a establezido komo rreferenzia, puede formularse akella rregla komo sige:—

***El aumento mas kombeniente sobre el balor del diámetro ke korresponde a $P_m$, será akel ke implike el empleo de un eszeso de kapital, de modo ke el eszeso korrespondiente de intereses anuales sea por lo menos kubierto kon el balor asignable al aumento de potenzia obtenido.***

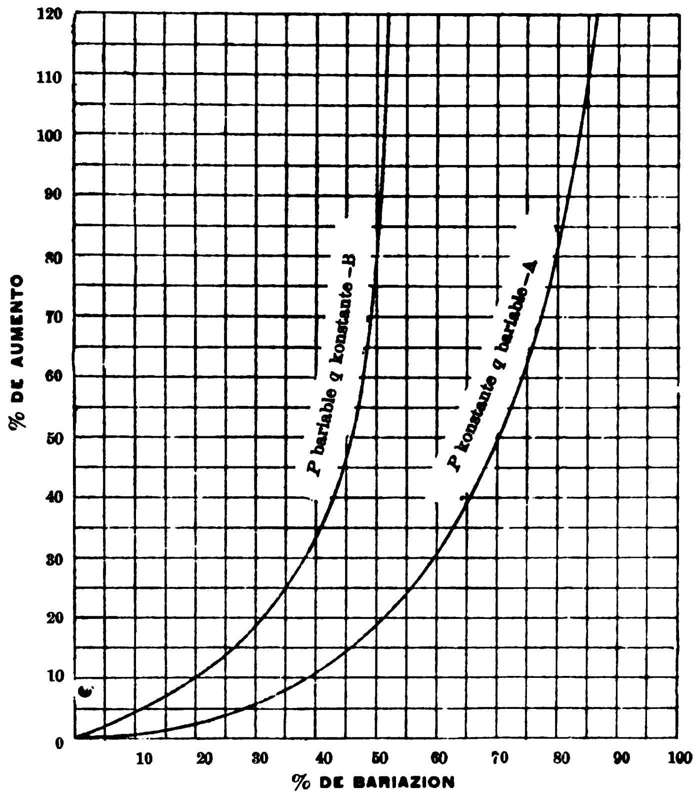



FIG. 13.—A. AUMENTO DEL DIÁMETRO EN FUNZION DEL % DE RREDUKZION DE LA BELOZIDAD $v_m$.

B. AUMENTO DEL DIÁMETRO EN FUNZION DEL % DE APROBECHAMIENTO DE $(P_t—P_{u}max)$.

Sea, por ejemplo, el kaso de una kañería de 0$^{m}$.500 i 30 kilómetros de largo, la kual bajo una karga total de 500 'metros' desarrolle un máksimo de 500 kaballos efektibos, es dezir, deskontada la pérdida en el motor. Este rresultado korresponde al empleo de la Fórm. V, elejida eksprofeso para ke las kondiziones sean lo mas diferentes de las del ejemplo último.

No obstante esta diferenzia, la kurba obtenida al tabular los rresultados en la misma eskala, se konfunde sensiblemente kon la kurba korrespondiente (B) de la Fig 13. Por manera, entonzes, ke este mismo diagrama puede serbir kon bastante aproksimazion, para la jeneralidad de los kasos de la misma índole, kualeskiera sean los datos del problema.

Aora bien, en la ipótesis de ke kada kaballo ganado por el echo de aumentar dicho diámetro de 0$^{m}$.500, llegara a rrepresentar una gananzia líkida anual de $ 50; de ke el aumento de kosto por metro korrido de kañería kolokada fuera kreziendo solo algo mas rrápidamente ke el diámetro rrespektibo; i, por fin de ke el interés del mayor kapital imbertido fuera el 8 % anual, —entonzes el rresultado komparatibo sería el ke indika el kuadro sigiente:

| Kaballos | Aumento en kaballos | Balor estimado | Diámetro | Aumento por metro | Aumento total | Interés anual |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 718 | — | — | 0m.500 | — | — | — |
| 753 | 35 | $ 1 750 | ·510 | $ 0·60 | $ 18 000 | $ 1 440 |
| 818 | 100 | „ 5 000 | ·533 | „ 1·90 | „ 57 000 | „ 4 560 |
| 861 | 143 | „ 7 150 | ·553 | „ 3·00 | „ 90 000 | „ 7 200 |
| 968 | 250 | „ 12 500 | ·635 | „ 7·00 | „ 210 000 | „ 16 800 |

Este ejemplo, meramente ilustratibo i ke no podría

talbez korresponder esaktamente a las kondiziones suszeptibles de presentarse en la práktika (por kuanto no siempre es dado adoptar el diámetro indikado por el kálkulo, sino el mas próksimo ke se use en la industria) demuestra en partikular lo ke antes se establezió de un modo jeneral.

**74.—Kálkulo de $P_m$ en el kaso de kañerías kortas.**—Un lijero eksámen del kuadro B (§ 73), o de la rrespektiba kurba (Fig. 13), demuestra ke duplikando, mas o menos, el diámetro korrespondiente al rréjimen ekonómiko de una kañería, konsígese elebar la potenzia aprobechable de *H*, desde komo 66% a zerka de 90%; en buena kuenta, la pérdida por frikzion se aze rrelatibamente insignifikante. Los mismos datos i el último ejemplo prueban ke la bentaja obtenida kon un aumento de diámetro—aunke no se trate sino de un pekeño aumento—será kontrarrestada tanto mas pronto, kuanto mas larga sea la kañería, i de akí surje la nezesidad de un kálkulo komo el ke se a indikado.

En mas de una okasion se a dicho ke al llamar 'larga' o 'korta' una kañería, no era prezisamente teniendo en kuenta su lonjitud absoluta, sino su lonjitud rrespekto del diámetro. Si este es rrelatibamente pekeño, kualkier kausa de pérdida de karga, a eszepzion del rrozamiento, es komparatibamente insignifikante, i en tal birtud no se la toma en kuenta. Kuando la kañería es 'larga', el término rresistenzia, *R*, de la fórmula jeneral, es deskomponible solamente en los faktores *L* i *r*; i en los mismos faktores, i a mas en algunos términos sekundarios (§ 23) kuando la kañería es korta. De todas maneras, en rréjimen de máksimo poder, la frakzion de

la karga total, absorbida por la rresistenzia *total*, kontinúa siendo $\left(\frac{1}{n+1}\right) H$, i, por lo tanto, $\left(1-\frac{1}{n+1}\right) H$ la parte aprobechable.

En el kaso de las kañerías kortas, esta última frakzion no está ya, pues, rrepresentada únikamente por la presion idrostátika, sino tambien, en zierta proporzion, por $h_v$,—la karga idrodinámika de la belozidad. Por otra parte, la pérdida por kontrakzion de entrada puede tener balor apreziable, de modo ke en tales zirkunstanzias la ekuazion de la potenzia útil puede eskribirse—

$$P_u = P_t - (P_f + P_e) \;\ldots\ldots\ldots\; (87),$$

demostrando el primer término del paréntesis la pérdida por frikzion, i la pérdida por kontrakzion de entrada, el segundo. Podrían tomarse en kuenta otras kausas de pérdida, espresables por otros tantos términos o sub-términos; pero es improbable ke en un trozo de kondukto de gran diámetro i, por añadidura, rrelatibamente korto, puedan eksistir kurbas biolentas, kodos, etz.

En (87), la potenzia total es ebidentemente el produkto $Hq$, esto es la karga total por el gasto korrespondiente a un rréjimen dado de aktibidad. La frakzion de potenzia absorbida por el frotamiento podemos rrepresentarla por $Lrq^{n+1}$, puesto ke $h_f = Lrq^n$, de akuerdo kon la fórmula jeneral. En kuanto a la pérdida por kontrakzion de entrada, su ekibalente es $h_e q$, o, poniendo en lugar de $h_e$ su balor (§ 37) $P_e = \frac{0{\cdot}0066}{D^4} q^{2+1}$

Por manera ke en definitiba se tiene—

$$P_u = Hq - \left(Lrq^{n+1} + \frac{0{\cdot}0066}{D^4} q^{2+1}\right) \;\ldots\; (88).$$

Para ke $P_u$ sea un máksimo es nezesario ke la deribada de esta espresion sea nula. Por lo tanto, diferenziando, igualando a zero i efektuando algunas simplifikaziones, se obtiene—

$$Lrq_m^n + \left[\left(\frac{2+1}{n+1}\right)\frac{0{\cdot}0066}{D^4}\right]q_m^2 - \left(\frac{1}{n+1}\right)H = 0 \quad (89).$$

A fin de allar el balor de $q$, se prozede de akuerdo kon lo indikado en el § 41.

Si en (89) ponemos $n = 2$, es fázil ber entonzes ke—

$$q_m = \left[\frac{\frac{1}{3}H}{\left(Lr + \frac{0{\cdot}0066}{D^4}\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \ldots\ldots \quad (90).$$

Aora, para determinar komo se deskompone $H$ bajo este mismo rréjimen, fijémonos simplemente en ke (89) puede eskribirse—

$$\left(\frac{1}{n+1}\right)H = h_f + h_e \quad \ldots\ldots\ldots \quad (91).$$

Subsiste, en konsekuenzia, la kondizion de ke la pérdida de kaída, en rréjimen ekonómiko rreferente a las kañerías kortas, es la siempre misma frakzion $\left(\frac{1}{n+1}\right)$ de $H$. En el kaso presente dicha pérdida total se alla rrepresentada solamente por los dos términos $h_f$ i $h_e$, korrespondientes a la frikzion i a la kontrakzion de entrada.

Tokante a la frakzion aprobechada de $H$, es ella ebidentemente—

$$\left(1 - \frac{1}{n+1}\right)H = h_i + h_v \quad \ldots\ldots \quad (92).$$

en ke $h_i$ es la presion idrostátika i $h_v$ la idrodinámika $\left(=\frac{v^2}{2g}\right)$. La ekuazion (92) permite determinar la presion manométrika ke debe eksistir en el estremo de salida del kondukto, bajo el rréjimen de mayor efizienzia.

**75.—Kálkulo de la sekzion de salida.**— La kondizion de deskarga total $Q$ supone la estremidad de eflujo de la kañería, abierta en toda su sekzion al aire libre. La presion idrostátika en ese estremo es, por konsigiente, nula; solo es posible aprobechar para la produkzion de trabajo la enerjía kinétika del bolúmen de agua deskargada, siempre ke $Q$ i $V$ sean de alguna importanzia.

Se a bisto ke para un kondukto ermétiko dado, la mayor potenzia obtenible korresponde, en kuanto al gasto, a la frakzion $\left(\frac{1}{\sqrt[n]{n+1}}\right)Q$, i en kuanto a la pérdida de karga, a la frakzion $\left(\frac{1}{n+1}\right)H$, espresiones ke abrebiadamente emos rrepresentado por $q_m$ i $h_p$. Luego, para este rréjimen, así komo para kualkier otro en ke aktúa la presion a mas de la belozidad del agua, la sekzion abierta a la atmósfera debe ser menor, para un mismo gasto, ke akella ke korresponde a la presion zero.

Determinarla ekibale a kalkular el diámetro rrespektibo, por tratarse de una sekzion zirkular.

Sea $v_v$ la belozidad de eflujo del chorro.

Sea $k$ un koefiziente de kontrakzion de salida, el kual para una bokilla bien konformada se estima, en la práktika, en 0·95.

Sea $h_u$ la karga total aprobechada $(h_i + h_v)$.

Sean $q$ el gasto i $d$ el diámetro buskado.

En konformidad kon las fórmulas jenerales $V = \sqrt{2gH}$, i $V = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$, kon los balores anteriores se tiene—

$$v_v = k\ \sqrt{2gh_u} \ \ldots\ldots\ldots\ (93),$$

i—

$$v_v = \frac{q}{\frac{1}{4}\pi d^2} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (94).$$

Eliminando a $v_v$, rresulta de kombinar (93) i (94),

$$d = \left[\frac{q}{\frac{1}{4}\pi k \sqrt{2gh_u}}\right]^{\frac{1}{2}} \ \ldots\ldots\ (95),$$

el diámetro buskado.

**76.—Determinazion del diámetro de una rrueda o turbina de impulso.**—Para simplifikar el kaso, supondremos ke se trata de un solo chorro impulsor. La potenzia de una rrueda de impulso no depende del diámetro de la rrueda sino de la enerjía del chorro en la unidad de tiempo, rrepresentada por los faktores $q$ i $h_u$, siendo este último ekibalente a la presion idrodinámika $v_v$. Aora bien, si es nezesario sujetarse a un número determinado de rreboluziones por minuto o por segundo, ai ke tener presente ke, teórika i práktikamente la belozidad tanjenzial de la rrueda, para la kondizion de mayor efizienzia debe ser $\frac{1}{2}\ v_v$.

Partiendo de esta base, i konozido el valor de $v_v$—esperimentalmente por el kálkulo—tenemos entonzes ke el número de rreboluziones por segundo será—

$$N = \frac{1}{2}\ \frac{v_v}{\pi D} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (96).$$

La misma ekuazion serbirá para kalkular el diámetro $D$ ke deberá tener una rrueda de impulso mobida por un solo chorro, para ke bajo un rréjimen dado de aktibidad, jire kon un número $N$ de rreboluziones por segundo.

## KAPÍTULO VIII.

### *PROBLEMAS RRELATIBOS A LA POTENZIA.*

**77. Obserbaziones preliminares.** — Kizá sea este el lugar mas apropiado para azer algunas obserbaziones tokante a la interpretazion ke, en la mayoría de los kasos, debe darse a los rresultados numérikos obtenidos kon las fórmulas idráulikas. En jeneral, un primer rresultado en kuestiones rrelatibas a las kañerías, no puede prudentemente estimarse komo la rrigurosa espresion de la berdad, ni sikiera como el grado de aproksimazion definitibo ke se konsidera sufiziente para todo propósito práktiko: serbirá komo dato indispensable de rreferenzia, pero en muchos kasos abrá ke modifikarlo en uno u otro sentido, en atenzion a zirkunstanzias espeziales ke no pueden figurar en las fórmulas komo elemento rregular de kálkulo. Esta obserbazion rrije, así se trate de la simple kondukzion o distribuzion de las aguas, komo de una instalazion de fuerza idráulika.

La gran kausa de inzertidumbre de ke puede adolezer un primer rresultado konsiste en la ninguna fijeza de los karaktéres ke distingen la rrugosidad de la superfizie interna de los kaños. No basta atenerse a zierta kondizion inizial del estado de esa superfizie para esta-

blezer una konklusion dezisiba sobre el empleo de las fórmulas ke serían mas adaptables a un kaso dado; el problema es jeneralmente mas komplejo. Entre otras konsideraziones de mayor o menor entidad ke deben tenerse presente, eksiste la del konozimiento ke de echo o por inferenzia se tenga sobre la naturaleza inkrustante de las aguas; sobre el rréjimen de belozidad a ke las mismas se allen sujetas; etz. De todo esto dependerá no solo el karákter sino la importanzia de los depósitos sueltos o aderentes ke kontribuyen a aumentar la primitiba rresistenzia de frikzion.* En todo problema ai, por konsigiente, ke prozeder kon mucha kautela, sin olbidar zirkunstanzia o faktor alguno ke pueda influir en los rresultados definitibos.

**78. Ekuazion jeneral.**—La ekuazion jeneral ke puede serbir para establezer las diferentes fórmulas aplikables a los problemas sobre la potenzia es la misma (69) konsiderada anteriormente:—

$$P_t = P_p + P_u.$$

Es dezir, la potenzia total en un zirkuito idráuliko de kañería es igual a la potenzia aprobechable en el

* Puede fallar a bezes toda prebizion en este sentido. El agua potable de Santiago, por ejemplo—segun análisis efektuados en 1888 (A. E. Salazar i K. Newman. *Eksámen kímiko i bakteriolójiko de las aguas potables*), konkordantes kon otros posteriores de diberso oríjen—podía konsiderarse un agua potable típika, deskollando entre sus kualidades la insignifikanzia del rresíduo permanente. Sin embargo, emos bisto en diziembre de 1897 un largo trozo de kañería matriz, de 30 zm. de diámetro—kañería ke se rrenobaba por otra de mayor kapazidad—rrekubierta interiormente no solo kon un depósito uniforme bastante apreziable, sino ademas de grandes rrugosidades o protuberanzias al parezer arzillo-ferrujinosas, prinzipalmente en la parte inferior i zerka de las junturas. La kañería tenía de uso solo komo dos años.

estremo de salida, mas la potenzia absorbida por las dibersas kausas rresistentes.

Poniéndonos en el kaso mas frekuente en la práktika, konsideraremos en lo ke sige toda la rresistenzia komo frikzional, esto es, komo si konstase del solo término $Lr = R$. Para el kaso espezial de las kañerías 'kortas,' puede prozederse kon sujezion a lo indikado en el § 23 o en el § 74 sobre la subdibision de la rresistenzia total en términos sekundarios.

**79. Fórmulas dibersas.—**

*a. Potenzia total.*—Podemos espresarla de tres maneras. En primer lugar es el produkto de la karga o kaída total, $H$, por el gasto korrespondiente a un rréjimen dado, a saber:—

$$P_t = Hq \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (97).$$

En segida, fijémonos en ke dicho rréjimen de gasto absorbe una frakzion de la karga total, frakzion ke espresada en % es $\frac{t}{100}H$. Por konsigiente,—

$$q^n = \frac{t}{100}\,\frac{H}{Lr},$$

de donde—

$$H = \frac{100}{t}\,Lrq^n,$$

i, por lo tanto,

$$P_t = \frac{100}{t}\,Lrq^{n+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (98).$$

Por último, si en (97) se rreemplaza $q$ por su balor $\left(\frac{t}{100}\,\frac{H}{Lr}\right)^{\frac{1}{n}}$, se llega a la terzera forma—

$$P_t = \left(\frac{t}{100}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{H^{\frac{n+1}{n}}}{(Lr)^{\frac{1}{n}}} \;\ldots\ldots\ldots\; (99).$$

*b. Potenzia perdida.*—Para espresarla en términos de (97), basta obserbar ke debe ser un tanto por ziento de dicha potenzia total, es dezir, tenemos komo primera forma—

$$P_p = \frac{t}{100} Hq \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (100).$$

Aora bien, komo $H$, segun akaba de berse es igual a $\frac{100}{t} Lrq^n$ sustituyendo este balor en (100) rresulta simplemente komo segunda espresion de la potencia perdida—

$$P_p = Lrq^{n+1} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (101),$$

espresion ke puede tambien deduzirse direktamente de la fórmula fundamental.

La terzera forma se obtiene reemplazando en (100) $q$, por su balor, lo ke da—

$$P_p = \frac{\left(\frac{t}{100} H\right)^{\frac{n+1}{n}}}{(Lr)^{\frac{1}{n}}} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (102).$$

*z. Potenzial útil.*— Finalmente, rrestando (100) de (97), (101) de (98), i (102) de (99), i poniendo por bía de simplifikazion $\frac{t}{100} = \lambda$, se obtienen las fórmulas konzernientes a la potenzia útil:—

$$P_u = (1 - \lambda) Hq \;\ldots\ldots\ldots\; (103).$$

$$P_u = \left(\frac{1}{\lambda} - 1\right) Lrq^{n+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (104).$$

$$P_u = \left(\lambda^{\frac{1}{n}} - \lambda^{\frac{n+1}{n}}\right) \frac{H^{\frac{n+1}{n}}}{(Lr)^{\frac{1}{n}}} \quad \ldots\ldots \quad (105).$$

Dibidiendo ordenadamente estas tres últimas ekuaziones por las korrespondientes (97), (98), (99), de la potenzia total, se llega en kada kaso a la *efizienzia*, o sea la rrelazion—

$$\frac{P_u}{P_t} = \left(1 - \frac{t}{100}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (106).$$

*d. Kaso de la potenzia útil máksima.*—En este kaso partikular, la frakzion $\lambda$ (de la karga total $H$), ke debe perderse en la kañería para ke $P_u$ sea un máksimo es, segun se dedujo en el kapítulo anterior, igual a $\frac{1}{n+1}$. De akuerdo kon esto, se tiene para la kondizion de efizienzia máksima, al sustituir en (104), $\lambda$ por el koefiziente que prezede—

$$P'_{u_{max}} = n Lrq^{n+1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (107);$$

i, en konsekuenzia—

$$P_t = (n+1)\, Lrq^{n+1} \quad \ldots\ldots \quad (108).$$

La rrelazion (107) a (108), o sea $\frac{n}{n+1}$, es el balor partikular de (101) bajo el rréjimen diskutido. Es fázil ber ke kuando el índize korrespondiente a la rrugosidad es 2, la efizienzia máksima es $\frac{2}{3}$ o 66·66%; kuando el índize

es 1·9, la efizienzia es $\frac{19}{29}$ o 65·5%; etz. (Béase el kuadro de la páj. 132.)

**80.—Problemas dibersos.**—Preszindiendo de la kondizion de potenzia máksima, diskutida separadamente en el anterior kapítulo, las ekuaziones (98) i (99) son sufizientes para todos los kasos ke pueden okurrir en la práktika, permitiendo determinar:—

1) El monto de la enerjía total ke en la unidad de tiempo puede trasmitirse a la distanzia $L$, por medio de una kañería de diámetro $D$ (deduzido de $r$), kon un tanto % prefijado de pérdida, i konozidos ademas el gasto $q$ o la karga inizial $H$. (Fórmulas zitadas.)

2) La distanzia $L$ a ke puede trasmitirse zierta potenzia $P_t$, en las kondiziones ke indikan los otros términos:—

$$L = \lambda \frac{P_t}{rq^{n+1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (109);$$

$$L = \lambda \frac{H^{n+1}}{rP_t^n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (110).$$

3) El diámetro $D$, deduzido de $r$, (49), ke debe tener una kañería kapaz de trasmitir $\frac{P_t}{\cdot 001}$ kilográmetros por segundo, o $\frac{P_t}{\cdot 001 \times 76}$ kaballos, a la distanzia $L$, kon una pérdida $\lambda$ o $\frac{t}{100}$:—

$$r = \lambda \frac{P_t}{Lq^{n+1}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (111),$$

i—

$$r = \lambda \frac{H^{n+1}}{LP_t^n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (112).$$

4) El tanto por ziento de pérdida para trasmitir $P_t$ en las kondiziones ke indikan las fórmulas:—

$$\lambda = \frac{Lrq^{n+1}}{P_t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (113),$$

i—

$$\lambda = \frac{LrP_t^n}{H^{n+1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (114).$$

Igualmente podrían determinarse $H$ o $q$, en kaso de ser uno u otro de estos términos la inkógnita.

En las fórmulas ke prezeden se adopta komo base la potenzia total; adoptando la potenzia útil, o sea la rrealmente trasmitida al otro estremo del kondukto, tendríanse komo fórmulas ekibalentes a las de la serie anterior, las ke sigen:—

$$L = \frac{P_u}{\left(\frac{1}{\lambda} - 1\right) rq^{n+1}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (115);$$

$$L = \left(\lambda^{\frac{1}{n}} - \lambda^{\frac{n+1}{n}}\right)^n \frac{H^{n+1}}{rP_u^n} \quad \ldots\ldots \quad (116);$$

$$r = \frac{P_u}{\left(\frac{1}{\lambda} - 1\right) Lq^{n+1}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (117);$$

$$r = \left(\lambda^{\frac{1}{n}} - \lambda^{\frac{n+1}{n}}\right)^n \frac{H^{n+1}}{LP_u^n} \quad \ldots\ldots \quad (118);$$

$$\lambda = \frac{Lrq^{n+1}}{P_u + Lrq^{n+1}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (119);$$

$$\lambda^{\frac{1}{n}} - \lambda^{\frac{n+1}{n}} - \frac{(Lr)^{\frac{1}{n}} P_u}{H^{\frac{n+1}{n}}} = 0 \; \ldots . \; (120);$$

Esta última ekuazion (120), ke puede rresolberse por kualkiera de los dos métodos indikados en la páj. 83, korresponde al sigiente problema:—

¿De kuánto por ziento es la pérdida, en la trasmision de una potenzia efektiba (o de llegada) $P_u$, a la distanzia $L$, por medio de una kañería de diámetro $D$, siendo $H$ la karga inizial?

El problema tiene soluzion mientras $P_u$ no eszeda de $P_{u\,max}$; en kaso kontrario abría ebidentemente un défizit de $H$. Para rresolber un problema de esta naturaleza, es mejor determinar prebiamente el balor de $P_{u\,max}$. Si $P_u$, segun el enunziado fuera mayor ke el poder máksimo korrespondiente al diámetro dado, el konozimiento de la diferenzia permitiría kalkular el aumento ke debería introduzirse en la karga inizial $H$.

Puede obserbarse ke las fórmulas en ke figura $q$ son de una aplikazion mas jeneral ke la de una simple determinazion de la potenzia. En rrealidad, trasmitir por medio de una kañería zierto monto de enerjía trasformable en trabajo útil en el estremo de llegada, no es sino la operazion de konduzir zierta kantidad de agua, perdiendo solamente una frakzion de $H$. Aun en el kaso estremo de ke la sekzion abierta a la atmósfera, sea la total del kondukto, a fin de obtener el mayor derrame $Q$, sakrifikando $H$ práktikamente por kompleto, siempre subsiste una trasmision de potenzia, konsistente esta última en el impulso del bolúmen de agua deskargado por segundo:—

$$P_i = \frac{V^2}{2g} Q,$$

kondizion ke korresponde ebidentemente a la de gasto total $Q = \left(\frac{H}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$.

Los primeros problemas ke sigen son una aplikazion direkta de algunas de las fórmulas anteriormente konsideradas.

**PROBLEMA 1.—Se kiere tener un gasto de 100 litros por segundo, bajo una presion efikaz de 22 'metros' en la estremidad de una kañería de 100 m. de largo. La karga inizial konstante es de 32 'metros.' ¿Kuál debe ser el diámetro de los kaños, en el supuesto de ke el grado de rrugosidad de los mismos korresponda al índize n = 2?**

Se tiene $H = 32$ i $h_u = 22$; por konsigiente—

$$\lambda = \frac{32 - 22}{32} = 0{\cdot}3125.$$

Tambien—

$$P_t = 0{\cdot}1 \times 32 = 3{\cdot}2.$$

Entonzes, segun (111)—

$$r = 0{\cdot}3125 \frac{3{\cdot}2}{100 \times 0{\cdot}1^3} = 10,$$

lo ke korresponde a un diámetro de 20 a 22 zm. segun TABLA II, o la fórmula (49).

El problema ekibale a determinar el diámetro de la kañería, para trasmitir una potenzia útil $P_u = 2{\cdot}2$, dado el gasto i dada la potenzia total.

**PROBLEMA II.—Kalkular el número de kaballos ke puede trasmitir una kañería de 0m.500 de diámetro i 3 000 m. de largo, bajo una karga inizial de 300 'metros', admitiendo ke la pérdida llege a 10%.**

Segun (TABLA II), adoptando un koefiziente de rrugosidad media korrespondiente a $n = 1{\cdot}9$ (a falta de otro dato sobre el partikular en el enunziado del problema), se tiene en primer lugar $r = 0{\cdot}06017$; entonzes, segun (99)—

$$P_t = \left(\frac{10}{100}\right)^{\frac{10}{19}} \frac{300^{\frac{29}{19}}}{(3\,000 \times 0{\cdot}06017)^{\frac{10}{19}}}$$

$$= 116\,660 \text{ kgmts. por segundo.}$$

Komo la pérdida es de 10%, la fuerza efektiba trasmitida es entonzes—

$$P_u = 0{\cdot}90 \times 116\,660 = 104\,994 \text{ kgmts. por segundo.}$$

Por lo tanto, el número de kaballos trasmitidos, sin deduzir la pérdida en el motor, será—

$$\frac{104\,994}{76} = 1\,382.$$

NOTA.—Una pérdida de 10% no korresponde al rréjimen de mayor potenzia ke puede obtenerse kon la indikada kañería. La pérdida $\frac{t}{100}\,P_t$ ke aze de $P_u$ un máksimo es $\frac{1}{2{\cdot}9} = 34{\cdot}5\%$, segun (*d*, § 79), o segun se desprende de la 3.ª kolumna del kuadro de la páj. 132.

**PROBLEMA III.—Kalkular asta ke distanzia puede llebarse una potenzia útil de 500 kaballos por medio de**

**una kañería de 26 zm. de diámetro, bajo una presion inizial de 50 atms. i kon pérdida de 20%. Se supone el mínimo de aspereza para la superfizie interna de los kaños, pudiendo emplearse, por lo mismo, la Fórm. I.**

En este kaso tenemos—

$$P_t = \frac{500 \times 76}{0{\cdot}80} = 47\ 500 \text{ kgmts. por segundo,}$$

o sean para el kálkulo, — kon $q$ en m.$^2$ — 47·5 tonelámetros por segundo.

Por otra parte, 50 atms. dan para la karga inizial:—

$$H = 50 \times 10{\cdot}33 = 516{\cdot}5 \text{ 'metros.'}$$

Por último, se tiene segun la TABLA II,

$$r = 0{\cdot}695.$$

Entonzes, segun (110)—

$$L = \frac{20}{100} \cdot \frac{516{\cdot}5^{2{\cdot}8}}{0{\cdot}695 \times 47{\cdot}5^{1{\cdot}8}} = 10\ 905 \text{ m.}$$

Práktikamente 11 kilómetros.

**PROBLEMA IV.—Determinar el % de pérdida en la trasmision de 19 600 kgms. por segundo ($=P_u$), bajo una karga total de 200 'metros,' por medio de una kañería de 0m. 300 de diámetro i 1 kilómetro de largo. Se supone ke la rrugosidad interna korresponde al índize $n = 2$.**

La soluzion de este problema se obtiene aplikando direktamente la fórmula (120). Poniendo en ella los balores ke prezeden, i el de $r$ korrespondiente a $D = 0^m.300$, la ekuazion keda—

$$\lambda^{\frac{1}{2}} - \lambda^{\frac{3}{2}} - \frac{1\ 541^{\frac{1}{2}} \times 19{\cdot}6}{200^{\frac{3}{2}}} = 0.$$

Rresuelta esta ekuazion por aproksimaziones suzesibas o por el método gráfiko (§ 41) se llega al tanto por ziento de pérdida—

$$\lambda = 9\%.$$

Puesto ke en el kaso de potenzia máksima, para $n = 2$, $\lambda$ tiene el balor 38·5, abría todabía márjen para aumentar $P_u$ asta $P_{u\,max} = 0{\cdot}385\ QH$. Para determinar el balor numériko de este máksimo, basta saber ke—

$$Q = \left(\frac{200}{1\,000 \times 1{\cdot}541}\right)^{\frac{1}{2}} = 360 \text{ litros.}$$

Por lo tanto,—

$$P_{u\,max} = 0{\cdot}385 \times 360 \times 200,$$

o sean 27 720 kgmts. por segundo.

Luego, en problemas komo el presente, kombiene empezar, segun ya se dijo, por la determinazion de este máksimo, pasado el kual las kondiziones son irrealizables.

**PROBLEMA V.—San Bernardo (Chile) kapta su probision de agua potable en una fuente situada a 260 metros sobre el depósito de distribuzion, i a 23 kilómetros de distanzia del mismo. Esta distanzia korresponde al desarrollo de la kañería, la kual es de fierro fundido i de 20 zms. de diámetro.—Determinar: 1) la potenzia máksima obtenible en las kondiziones antedichas; 2) el diámetro de una kañería uniforme de mayor kapazidad, ke diera el mismo número de kilográmetros por segundo, pero kon un gasto $q_m$ igual al gasto $Q$ del kaso anterior; i, 3)—suponiendo ke en 5 kms. del lado de llegada se mantubiera el diámetro de 20 zms.—kual debería ser el diámetro uniforme de los otros 18 kms., para obtener kon esta kombinazion los mismos rresultados del kaso ke prezede.**

**Determinar, ademas, el espesor de los kaños sometidos a mas alta presion, en kada uno de los tres kasos.**

1) Segun el enunziado no ai zirkunstanzia alguna espezial ke tomar en kuenta; entonzes, por tratarse de agua de fuente i de kañerías de fierro fundido, la fórmula mas prudentemente adaptable sería la III, kuyos rresultados, dentro de las kondiziones establezidas, son lijeramente inferiores a los de la fórmula de Flamant.

El gasto total, sin presion idráulika, sería pues—

$$Q = \left(\frac{260}{23\,000 \times 5{\cdot}3618}\right)^{\frac{10}{19}} = 39 \text{ litros por segundo.}$$

La potenzia máksima será, por konsigiente (páj. 132), $0{\cdot}375\,HQ$, o sea,—

$$P_{u\,max} = 0{\cdot}375 \times 260 \times 39 = 3\,802 \text{ kgmts. por segundo.}$$

Deskomponiendo el koefiziente 0·374 en sus dos faktores puede berse ke—

$$h_u = 0{\cdot}655 \times 260 = 170{\cdot}30 \text{ 'metros'};$$

$$q_m = 0{\cdot}571 \times 39 = 22{\cdot}27 \text{ litros.}$$

Por manera ke el derrame total, sin presion, de ke es kapaz la kañería, keda rreduzido de 39 a 22·25 litros, o sea en un 43%, al tratarse de konsegir la mayor potenzia utilizable.

En kuanto a los kaños sometidos a la mayor presion, su espesor debería ser, de akuerdo kon (84), komo de 14 mm.

2) En este kaso se tiene ke $q_m$ i no $Q$ deberá ser igual a 39 litros por segundo, i por konsigiente,—

$$0{\cdot}571\,Q = 0{\cdot}039,$$

de donde—

$$Q = 0{\cdot}068.$$

Si en la fórmula jeneral rreemplazamos las letras por los balores konozidos, rresulta—

$$0{\cdot}068^{1{\cdot}9} = \frac{260}{23\,000 r},$$

de donde,—

$$r = \frac{260}{23\,000 \times 0{\cdot}068^{1{\cdot}9}} = 1{\cdot}853,$$

balor de *r* ke está komprendido (TABLA II, Fórm. III) entre 1·4825 i 2·1945, rresistenzias korrespondientes a los diámetros 260 i 240 milímetros. En esta materia es inútil persegir mayor grado de aproksimazion ke el rresultante de adoptar uno de los balores intermedios — 250 o 254 mm. — de diámetros konozidos en la industria.

La mayor presion alcanzaría en este kaso a zerka de 17 atmósferas. El kálkulo indika ke los kaños de fierro sometidos a esa presion de trabajo, deberían tener un espesor de 15 mm.

3) Si 5 000 metros, a la llegada, tienen ke ser de 20 zms. de diámetro, el diámetro de los 18 kms. rrestantes puede determinarse kalkulando el balor de *r*. Se tiene, en efekto, siempre segun la fórmula fundamental—

$$0{\cdot}068^{1{\cdot}9} = \frac{260}{5\,000 \times 5{\cdot}3618 + 18\,000 r},$$

de donde—

$$r = 0{\cdot}8785,$$

koefiziente ke korresponde a un diámetro komprendido

entre 28 i 30 zentímetros. Abría ke adoptar este último balor.

Kalkulando los kaños de este último diámetro para una presion media de trabajo, de 9 a 10 atmósferas, su espesor debería ser de 13 mm., i el peso por metro corrido komo de 100 kgs.

Por medio de la TABLA VIII se puede kalkular ke esta kombinazion destinada a produzir los mismos rresultados ke la segunda, no ofreze bentajas, pues el kondukto misto eksijiría komo 10% mas fierro ke la kañería uniforme de 250 mm.

**PROBLEMA VI.—Terminadas las Obras de Peñuelas, espérase ke Balparaíso dispondrá rregularmente de 20 000 m³. diarios de agua, a una altura de 300 metros sobre el plan de la ziudad, i a una distanzia komo de 3 kilómetros. Admitiendo ke las ¾ partes de este bolúmen de agua puedan emplearse (sin komprometer o perturbar el serbizio prinzipal) en la produkzion de potenzia motriz, por medio de una instalazion idráulika situada a mitad de la altura $H$ (= 300), i kon un desarrollo de 1 500 metros de kañería, determinar las kondiziones de la instalazion: 1) en rréjimen de ekonomía de los kaños; i, 2) en rréjimen de máksimo aprobechamiento del agua, adbirtiendo ke esta será filtrada i de kalidad poko inskrustante.**

1) Las tres kuartas partes del bolúmen total, o sean 15 000 m³ en las 24 oras korresponden a 173 litros por segundo; entonzes—

$$0{\cdot}57\ Q = 0{\cdot}173,$$

i por lo tanto—

$$Q = 0{\cdot}303.$$

Estos números rresultan adoptando la Fórm. III, ke konsideramos la mas aplikable al kaso.

Kon el dato anterior rrespekto del balor de $Q$, i kon el konozimiento de ke la karga total es de 150 'metros,' puede establezerse *a priori*, sin kalkular el diámetro de la kañería kapaz de utilizar en rréjimen de máksima potenzia los 173 litros disponibles, ke—

$$P_{u\,max} = 0{\cdot}374\,(150 \times 0{\cdot}303)$$
$$= 17\,000 \text{ kgmts. por segundo.}$$

Para un rrendimiento orgániko de 80% del motor idráuliko empleado (rrueda Pelton o turbina Girard, por ejemplo), el anterior rresultado keda rreduzido 13 600 kgms. por segundo, o sean 180 kaballos efektibos.

A fin de determinar el diámetro mínimo korrespondiente a un gasto $q_m = 0{\cdot}173$, kon una pérdida de karga $h_p = \frac{1}{2{\cdot}9}H$, o sean 51·72 'metros' de los 150 de la kaída total, pongamos, de akuerdo kon la fórmula jeneral—

$$0{\cdot}173^{1{\cdot}9} = \frac{51{\cdot}72}{1\,500 r}.$$

De akí sakamos—

$$r = 0{\cdot}9667.$$

Este balor de la rresistenzia por unidad de lonjitud korresponde a un diámetro komprendido entre 28 i 30 zentímetros, debiendo adoptarse de preferenzia este último diámetro.

Se a establezido el kálkulo anterior sobre la base

de un serbizio kontinuo de las 24 oras. La pekeña fuerza en tal kaso rresultante no tendría importanzia alguna industrial, máksime si se toma en kuenta lo inadekuado del lugar en ke se supone instalada la turbina. No podría, pues, pensarse en un aprobechamiento direkto de esa fuerza.

Limitando el serbizio a 12 oras diarias únikamente, para una misma karga efikaz, la kantidad de agua disponible sería el doble i, por lo tanto, la potenzia máksima utilizable sería tambien el doble, es dezir 34 000 kgmts. por segundo, o sean 360 kaballos efektibos esta bez. Duplikado el kaudal, el diámetro del kondukto no sería ya de $0^m.300$, sino el deduzido de la nueba ekuazion de la rresistenzia a saber,—

$$r = \frac{51{\cdot}72}{1\,500 \times (0{\cdot}173 \times 2)^{1{\cdot}9}} = 0{\cdot}259,$$

balor ke korresponde a zerka de 370 mm., segun la TABLA II, i, práktikamente, al de los kaños de azero laminado, de 362 mm., ke indika la TABLA IX.

Komo aun en este kaso la potenzia rresultante no alkanzaría, por ejemplo, ni para un kombeniente serbizio de alumbrado públiko eléktriko de la ziudad, keda el rrekurso de aumentar el diámetro de los kaños, kon sujezion a lo establezido en el § 73, segun se esplika en segida.

2) Un kálkulo análogo al del kuadro B, páj. 149, permite obtener una serie de balores para konstruir una kurba komo la B de la FIG. 13. Aun esta misma figura, sin nezesidad de kálkulo prebio, indika kon sufiziente aproksimazion, para kualkier problema komo el presente, la bariazion ke esperimenta el diámetro, en

funzion de un mejor aprobechamiento de $q_m$. (346 litros en el kaso aktual.)

Se a bisto ke el número de kaballos, en rréjimen ekonómiko de la kañería, es de 360. Supongamos, aora, ke se desea aumentar esta fuerza a 500 kaballos, o sea en un 40%. Puede berse inmediatamente ke el aumento korrelatibo del diámetro es komo de 33%. De akuerdo kon estos guarismos, entonzes, es nezesario aumentar el diámetro, de 370 mm., a 500 mm., bien entendido ke se trata de kaños de azero soldados o en espiral, pero no de planchas rremachadas. Bajo la kondizion del empleo de kañería de esta última klase, lo mas prudente sería atenerse a los rresultados ke arroja la Fórm. V.

Por medio de la misma kurba puede berse, tambien, ke todo aumento arriba de 40% a 50% para $P_u$, implika una bariazion mucho mas rrápida para $D$, ke la ke implikaría en sentido imberso una rredukzion en la eskala de la potenzia útil; desde 50%, kualkiera i por mui grande ke sea el diámetro elejido, la potenzia keda kasi estazionaria. En definitiba, el punto mas bentajoso dependerá de las premisas ekonómikas ke se establezkan komo base. A este respekto, puede serbir el ejemplo ke se diskutió en la páj. 154.

**PROBLEMA VII.—A 80 metros, en distanzia orizontal, de una kañería matriz de agua potable, se nezesita instalar una pekeña rrueda Pelton, ke sea kapaz de desarrollar una fuerza efektiba de ½ kaballo (38 kgms. por segundo). La karga o presion konstante en dicha kañería es de 31 kg. por zm.$^2$—Se trata de determinar: 1) el diámetro mas ekonómiko ke debe tener el rramal del serbizio, a fin de alkanzar la indikada fuerza; 2) el diámetro korrespondiente**

**de la bokilla ke debe ajustarse a la rrueda, para obtener el chorro deseado; i 3) el diámetro de la rrueda, a fin de ke el número de rreboluziones en rréjimen de potenzia máksima, sea de 600 por minuto.**

1) Partiendo del prinzipio de ke un motor idráuliko de tan pekeño poder no sea de un rrendimiento efikaz superior a 75%, tendríamos para empezar ke—

$$P_u = \frac{38}{0{\cdot}75} = 50{\cdot}5 \text{ kgmts. por segundo,}$$

en otros términos, tal debería ser la potenzia del chorro, deskompuesta en sus faktores $q_m$, el gasto, i $h_u$ la presion señalada lado adentro de la bokilla por el manómetro, durante el funzionamiento del motor.

Kon los datos del enunziado i kon el ke akaba de obtenerse sobre la potenzia útil, infiérese, desde luego, ke el rramal será de pekeño diámetro; si se agrega ke los kaños deberán ser de fierro komun o si no galbanizado, segun es práktika en este jénero de instalaziones, se llega a la konklusion de ke el koefiziente de rrugosidad por tomar en kuenta debe korresponder al límite superior de la gama. En konsekuenzia, adoptando p. ej. la Fórm. V, kon $n = 2$, se tiene komo espresion de la pérdida mas kombeniente debida a la rresistenzia frikzional—

$$h_p = \frac{1}{3} H = 10 \text{ 'metros.'}$$

Por lo tanto, si en $P_u = q_m\ (H - h_p)$ se rreemplazan las letras por los balores konozidos, se obtiene—

$$q_m = \frac{50{\cdot}5}{30 - 10} = 2{\cdot}5 \text{ litros por segundo,}$$

komo balor del gasto korrespondiente al rréjimen de máksimo poder. $Q$ será entonzes igual a $\frac{2{\cdot}5}{0{\cdot}577}$, o sean 4·3 litros por segundo.

Rrekargando prudenzialmente la lonjitud del rramal en un 25%, a fin de inkluir la rresistenzia ekstra de algunos kodos o kurbas, etz., ke fuera nezesario emplear (sería de mui poka utilidad un kálkulo laborioso a tal rrespekto, tratándose de una instalazion tan pekeña), se tendrá komo balor de la lonjitud rresistente, $L = 100$ metros.

Al llegar a este punto el problema konsiste en aberiguar ke rresistenzia $r$ (para de ella deduzir el diámetro) por unidad de lonjitud, debe tener el rramal a fin ke el gasto sea de 2·5 litros por segundo.

Para esto, pondremos—

$$0{\cdot}0025^2 = \frac{10}{100r},$$

de donde—

$$r = 16\,000.$$

El diámetro buskado será, entonzes, segun (49)—

$$D = \left(\frac{0{\cdot}0023}{0{\cdot}6168 \times 16\,000}\right)^{\frac{1}{5}} = 47 \text{ mm.}$$

Este es el diámetro mínimo dado por el kálkulo, lo ke implika la nezesidad de emplear el tamaño inmediatamente superior konozido en el komerzio, de 50 mm. Pero no debe olbidarse jamas ke en las kañerías de tan pekeño kalibre, sobre todo las de fierro galbanizado, la aspereza es rrelatibamente mui grande, de tal suerte ke

el rrozamiento será en ellas, segun toda probabilidad, proporzional a una potenzia superior a 2. Lo práktiko en tales kasos es, entonzes, ponerse al abrigo de toda kontinjenzia de error, adoptando un diámetro lijeramente mayor aun ke el adoptado en bista de un primer kálkulo.

2) Segun (95), el diámetro de la bokilla deberá ser aproksimadamente—

$$d = \left(\frac{0{\cdot}0025}{0{\cdot}7854 \times 0{\cdot}95\sqrt{19{\cdot}6 \times 20}}\right)^{\frac{1}{2}} = 13 \text{ mm.}$$

3) La belozidad del chorro será, de akuerdo kon (93)—

$$v_v = 0{\cdot}95\sqrt{19{\cdot}6 \times 20} = 18^m.80.$$

En tal birtud, abiéndose prefijado en 600 el número de rreboluziones por minuto, se tendrá por segundo—

$$\frac{600}{60} = \frac{1}{2}\frac{18{\cdot}8}{\pi D},$$

de donde el diámetro de la rrueda rresulta—

$$D = 0^m.300.$$

**PROBLEMA VIII.—Una bomba de inzendio trabaja manteniendo una presion konstante de 8 kg. por zm.² en el rrezipiente de aire. De este rrezipiente arranka una mangera de goma de 150 metros de largo i 0m.080 de diámetro, pudiendo estimarse el koefiziente de aspereza de la mangera komo korrespondiente a $n$=1·8.—Se pregunta kuál será el diámetro de la bokilla ke debe usarse, a fin de ke el chorro de agua obtenido sea el de mayor potenzia mekánika.**

En este problema se konozen: $H = 80$ 'metros;' $L = 150$ m; i $r = 199{\cdot}12$.

El gasto korrespondiente al rréjimen de máksimo poder, será entonzes,—

$$q_m = \left(\frac{0{\cdot}357 \times 80}{150 \times 199{\cdot}12}\right)^{\frac{5}{9}} = 21 \text{ litros por segundo,}$$

i, por lo tanto, la potenzia del chorro—

$$P_{u\,max} = (1 - 0{\cdot}357)\ 80 \times 21,$$

o sean 1 080 kgms. por segundo.

Para la belozidad de eflujo rresulta,—

$$v_v = 0{\cdot}95 \sqrt{19{\cdot}6 \times (1 - 0{\cdot}357)\ 80},$$

o sean 30 m. por segundo, aproksimadamente.

Se tiene, entonzes,—

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{0{\cdot}021}{30}$$

de donde—

$$d = \left(\frac{0{\cdot}021}{0{\cdot}7854 \times 30}\right)^{\frac{1}{2}} = 29{\cdot}8 \text{ mm.}$$

Segun esto, en las indikadas kondiziones de funzio. namiento de la bomba, el chorro de mayor empuje se obtendrá empleando una bokilla komo de 30 milímetros.

**PROBLEMA IX.—Ai ke instalar el mismo nibel, en distintos puntos de una fábrica, *t* rruedas de impulso, de potenzia *p* i de igual gasto *q* kada una. Kada motor está unido por medio de un rramal de lonjitud *l* i diámetro *d* (rresistenzia frikzional *r* por unidad de lonjitud), a un punto komun de arranke: el estremo inferior de una kañería alimentadora de lonjitud $l_1$ i diámetro $d_x$ por determinar (rresistenzia deskonozida $r_x$ por unidad de lonjitud). La karga total disponible, es dezir entre el plano ekipotenzial de los motores i el nibel de entrada del agua en el estremo superior de la kañería matriz es *H*.**

Puesto ke $p$ debe ser la potenzia del chorro en kada rramal, para un gasto prefijado $q$, por lo tanto la karga útil o efikaz (sin tomar en kuenta pérdidas sekundarias, insignifikantes al lado de la frikzional) será $h_u = \frac{p}{q}$; por lo tanto balor konozido.

La pérdida *total* de karga, entre el estremo múltiple i el estremo úniko de entrada del sistema, será entonzes tambien konozido: $h_p = H - h_u$.

Así mismo, la pérdida *parzial* de karga entre el punto de arranke de los rramales i los estremos libres de todos ellos será, de akuerdo kon (43), $lrq^n$; i la pérdida *parzial* de karga en la kañería alimentadora $l_1 r_x\ (tq)^n$

Podemos entonzes establezer la ekuazion—

$$l_1 r_x\,(tq)^n + lrq^n = H - h_u.$$

Dibidiendo ambos miembros de esta ekuazion por $(tq)^n$, se llega a la espresion de la rresistenzia jeneral del sistema:—

$$l_1 r_x + \frac{lr}{t^n} = \frac{h_p}{(tq)^n} = R \;\ldots\ldots\; (121).$$

El primer término del primer miembro rrepresenta la rresistenzia de la kañería prinzipal, kuyo diámetro se trata de determinar; el segundo término rrepresenta la rresistenzia 'kombinada' de los $t$ rramales; * el término sigiente es la espresion de la rresistenzia total de la

* Komo komplemento de lo espuesto en el § 48 sobre las kañerías 'en kantidad' e akí la determinazion direkta de la rresistenzia kombinada, del kaso espezial komo el del problema en aktual diskusion:—

Sea el sistema de $t$ kañerías paralelas, todas ellas de lonjitud $l$, diámetro $d$, rresistenzia $r$ por unidad de lonjitud, i koefiziente de rrugosidad korrespondiente a $n$.

kañería misma konsiderada, espresion ke konkuerda kon la fórmula jeneral (44) de la rresistenzia.

Despejando a $r_x$, se obtiene finalmente—

$$r_x = \frac{1}{l_1}\left\{\frac{H - h_u}{(tq)^n} - \frac{lr}{t^n}\right\},$$

fórmula ke permite determinar el balor del diámetro buscado, sea por medio de la TABLA II, sea direktamente (49).

Komo aplikazion numérika supongamos:—

Número de motores, $t = 10$.

Potenzia teórika de kada chorro, $p = 0{\cdot}4$, lo ke korrespondería mas o menos a 4 kaballos efektibos en el eje de kada motor.

Gastos por metros, $q = 0.020$ m$^3$.

Sea $h_p$ la pérdida total de karga en kualkiera de los rramales. Se tendrá entonzes komo balor korrespondiente del gasto—

$$q = \left(\frac{h_p}{lr}\right)^{\frac{1}{n}};$$

i para los $t$ rramales—

$$tq = t\left(\frac{h_p}{lr}\right)^{\frac{1}{n}},$$

Elebando ambos miembros de esta ekuazion a la potenzia $n$, se tiene—

$$(tq)^n = \frac{t^n h_p}{lr},$$

ekuazion ke puede eskribirse—

$$(tq)^n = \frac{h_p}{\frac{lr}{t^n}};$$

lo ke korresponde a la ekuazion jeneral (42), siendo en el aktual kaso $R = \frac{lr}{t^n}$, e. d. la espresion de la rresistenzia kombinada de $t$ kañerías en paralelo.

Largo de la kañería prinzipal, $l_1 = 2\,000$ m.

Diámetro de la misma: deduzible de $r_x$, por determinar.

Largo de kada rramal, $l = 20$ m.

Diámetro de los mismos: $0^m.1$.

Karga total disponible, $H = 50$ 'metros.'

Karga útil o efikaz, $h_u = \frac{0{\cdot}4}{0.02} = 20$ 'metros.'

Rrugosidad de los kaños: korrespondiente a $n = 2$.

Por konsigiente, se tiene segun TABLA II, $r = 374{\cdot}5$.

$$\therefore r_x = \frac{1}{2\,000}\left\{\frac{50-20}{(10 \times 0{\cdot}02)^2} - \frac{20 \times 374{\cdot}5}{10^2}\right\},$$

o sea—

$$r = 0{\cdot}337,$$

lo ke korresponde sensiblemente a—

$$D = 0^m.400.$$

# APÉNDIZE.

## *MOTORES IDRÁULIKOS USADOS KON LAS KAÑERIAS.*

**80. Jeneralidades.**—El objeto de los últimos kapítulos a sido prinzipalmente el kálkulo rrelatibo a la potenzia obtenible kon las kañerías de agua, en dibersas kondiziones de funzionamiento: nada se dijo—ni abia para ke dezirlo, por ser asunto independiente del kálkulo prinzipal—sobre los motores que permiten utilizar la enerjía del chorro, o bien la presion i la belozidad del agua konduzida por la kañería.

Tokante a la teoría i a la konstrukzion de esos motores, pueden konsultarse kualkiera de las buenas obras ke eksisten publikadas sobre la materia: en este apéndize nos konkretaremos a konsignar algunos brebes apuntes, espezialmente de karákter práktiko, azerka de las turbinas o motores idráulikos ke mas probablemente puedan usarse en una instalazion de fuerza motriz, en que interbengan kañerías.

Se a bisto en dibersos lugares anteriores ke los prinzipales komponentes de la enerjía total de una masa de agua en mobimiento en un tubo o kañería, son la belozidad o *presion idrodinámika* i la *presion idrostátika* o presion propiamente dicha ($h_v$ i $h_i$, rrespektibamente, en la primera fórmula de la p. 14).

Los motores o turbinas de ke akí nos okuparemos estan destinados a aprobechar simultáneamente estas dos formas de la presion; o bien funzionan únikamente bajo la akzion del impulso del agua, al eskapar al aire libre kombirtiendo en kinétika la enerjía enzerrada en la forma de karga útil o efikaz.

De akí la sigiente doble klasifikazion jeneral de las turbinas:—

1. *Turbinas de presion o de rreakzion*, en las kuales una parte de la enerjía disponible es kombertida en kinétika en el interior del aparato: el agua aktúa por presion sobre las paletas kombenientemente enkorbadas de la rrueda, aziendo ke esta jire en konsekuenzia; todas las kalidades o kompartimientos internos deben allarse siempre llenos de agua durante el funzionamiento de la turbina, pues de otro modo no abría presion. Por otra parte, para ke una turbina de esta klase aktúe kon toda efizienzia, el agua debe llegar simultáneamente por la entera zirkunferenzia de la rrueda.

Una de las bentajas ke presenta este sistema es ke la turbina puede kolokarse arriba del nibel del agua de eskape (kon tal ke la altura no eszeda de mas o menos unos 8 m.), agregando al efekto a la kámara de la turbina un tubo de sukzion.

2. *Turbinas de impulso o de libre desbiazion*, en las ke la total enerjía de la presion efikaz es kombertida en kinétika: el agua entra en la rrueda kon una belozidad debida a la total kaida disponible i, por lo tanto sin presion; al chokar kontra las paletas enkorbadas de la rrueda imparte a esta la enerjía total del chorro o de los chorros, por medio del inpulso debido al kambio gradual de momento. En este jénero de turbinas el

agua es libremente desbiada—de akí ke se las llame tambien de *libre desbiazion*—por las paletas enkorbadas: por este motibo los pasos o kompartimentos no deben estar nunka llenos de agua, debiendo esta fluir bajo una presion konstante, ke es únikamente la atmosférica.

Las turbinas mas komunmente usadas en konekzion kon las kañerías destinadas a la produkzion de potenzia son las de esta segunda klase, máksime si se trata de altas kaídas—ke así pueden designarse en jeneral las de mas o menos 30 m. para arriba.

El motibo por el kual las turbinas de la primera kategoría, o sea las de rreakzion tienen ke ser de uso mas limitado, en las kondiziones ke estamos tratando este asunto, es ke kuando la karga o kaída es algo grande, la rrueda tiene ke jirar kon belozidad ke puede ser desbentajosamente grande; i, si kon el propósito de disminuir el número de rreboluziones se rrekurre al arbitrio de aumentar el diámetro, aumentan entonzes tambien la frikzion i la konsigiente pérdida de potenzia utilizable, sin ablar de ke pasado zierto límite en kuanto al diámetro, puede llegase a azer impraktikable la debida proporzion de los ángulos de las paletas.

Las turbinas de impulso no presentan el mismo inkombeniente: puesto ke en ellas kada partikular fluida aktúa independientemente, no es nezesario ke el agua en mobimiento obre simultáneamente sobre todo el kontorno de la rrueda: puede limitarse la admision a una parte dada del kontorno—i en tal kaso la turbina se designa komo de *admision parzial*—determinando así el diámetro ke mas kombenga elejir, independientemente de konsideraziones idráulikas, de modo ke la

rrueda jire kon el rrekerido número de rreboluziones en la unidad de tiempo. Las turbinas de impulso pueden ser, pues, de admision kompleta o parzial, mientras ke en las turbinas de rreakzion la admision debe ser siempre kompleta.

Los dos tipos de rrueda de impulso ke se emplean jeneralmente en las instalaziones kon kañerías son: la turbina Girard i la turbina tanjenzial o rrueda-turbina, komunmente denominada rrueda Pelton.

Antes de entrar en la deskripzion de estos dos tipos de motores, es útil azer algunas lijeras konsideraziones de karákter jeneral.

Una de las prinzipales kualidades ke debe poseer toda turbina destinada a formar parte de una instalazion kualkiera, es ke sea efiziente al tener ke funzionar con un kaudal de agua inferior al konsiderado komo normal; es dezir el de rréjimen de máksima kapazidad de la turbina en kondiziones rregulares de trabajo. Kasi no ai kaudal de agua de los destinados a la produkzion de fuerza motriz ke no esté sujeto a bariaziones mas o menos konsiderables, periódikas o akzidentales, de suerte ke en ziertas épokas el motor tiene ke marchar produziendo solo una frakzion del trabajo total de ke es kapaz en las zirkunstancias normales. De ahí ke sea nezesaria una disposizion espezial ke permita asegurar sensiblemente el mismo buen grado de efizenzia o rrendimiento (106), dentro de las bariaziones del rréjimen ke pueda esperimentar el bolúmen de agua disponible. Los tipos de turbinas de ke se ablará en segida kumplen bastaute bien kon este rrekisito: praktikamente, kon un $\frac{1}{3}$ i aun solo $\frac{1}{4}$ del kaudal korrespondiente a la máksima kapazidad, su efizienzia se mantiene sensiblemente

igual, la que en las mejores kondiziones adaptables a kada tipo, puede llegar a 80% i mas. Sin embargo, para todo propósito práktiko, tratándose de un proyekto de instalazion, no kombiene apartarse de la base ke fijamos komo mínimo en la p. 3, es dezir 75% solamente. De esta suerte keda un márjen mui rrazonable para ponerse al abrigo de kualkier kontinjenzia, en el sentido de adoptar erróneamente un kálkulo demasiado optimista. Es klaro ke kuando se tienen datos mui prezisos sobre los dibersos elementos de la instalazion, tal medida de prudenzia no es nezesaria.

**81. Turbina Girard.**—Es uno de los dos tipos de turbina de impulso a ke se izo rreferencia mas arri-

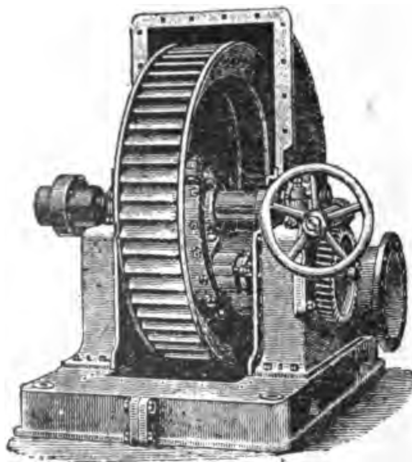


FIG. 14.—TURBINA GIRARD.

ba. La FIG. 14 rrepresenta el modelo de admision parzial i de eje orizontal. Falta en la figura, segun puede berse, parte de la kubierta metálika para impe-

dir ke el agua se esparza al rrededor, al chokar bajo zierto ángulo kon las paletas enkorbadas o konkabidades, bisibles en la misma figura. El agua pasa en el sentido ke indika la flecha (Fig. 15), a la kámara distri-

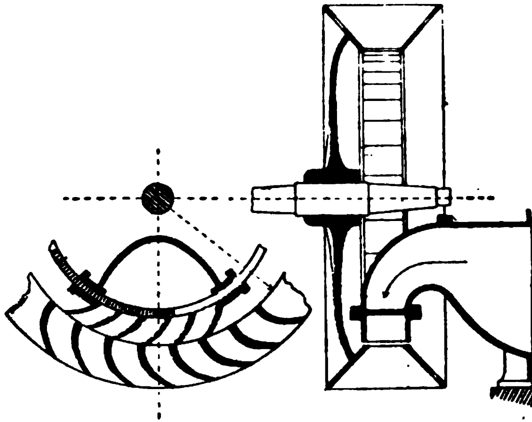


Fig. 15. Turbina Girard. [Sekziones].

buidora desde la kual, kon todo el ímpetu debido a la karga efikaz disponible ($h_n$), se proyekta kontra las konkabidades de los kompartimentos, pero sin tokar las kombeksidades de los mismos. El paso se efektúa a trabés de aberturas bariables a voluntad en número por medio de una korredera gobernada a mano o automátikamente desde el esterior, en konformidad kon el kaudal de agua disponible. El número de esas aberturas ke dan paso al agua desde la kañería azia la rrueda suele llegar asta siete. Kuando ai solamente una abertura, ella puede rreduzirse en tamaño en kaso de disminuir el kaudal ordinario; i kuando, komo es mas frekuente, las aberturas son barias, se pueden dejar en deskubierto únikamente las rrekeridas segun las neze-

sidades del momento. El agua aktúa, así, esklusibamente por impulso, en tanto ke en la turbina ordinaria o de presion, el agua llena kompletamente pasajes i kompartimientos i aktúa, parte por presion, parte por impulso. Para las medianas i las grandes kaídas, la turbina debe kolokarse de modo ke el borde de la rrueda, al trabajar, se alle justamente libre de la superfizie o nibel de eskape, kon el objeto de asegurar la deskarga del agua sin obstrukziones de ningun jénero; bastan unos kuantos zentímetros de klaro entre la periferia de la rrueda i el agua, lográndose de este modo rreduzir a mui poka kosa el espazio perjudizial. Es esto tanto mas kombeniente kuanto ke, no estando nunka llena de agua la kámara, no es aplikable en el presente kaso el prozedimiento de trabajar por sukzion, mediante el agregado de un kaño o tubo.

En sus diferentes modifikaziones la turbina Girard es aplikable a todas las kaídas, desde 2 m. i aun menos, asta las de 300 m. o mayores. El diseño i la konstrukzion barían kon la altura de la kaída, pero el tipo ke indikan las Figs. 14 i 15 es el usado en kombinazion kon kañerías, i kon kargas mas o menos konsiderables.

Kon el objeto de obtener pekeños ángulos de salida, asegurando así ke el agua deje la rrueda kon la belozidad mas baja posible, impidiendo al mismo tiempo ke los kompartimentos se llenen de agua, los kostados de la rrueda ban inklinándose azia afuera, de modo ke la sekzion trasbersal es la de un embudo, segun lo indika la Fig. 15.

Por otra parte, a fin de konsegir ke la korriente líkida se eskurra en kontakto kon las konkabidades de un modo uniforme i kontinuo, ebitando la posibilidad de ke

se formen rremolinos en los espazios bazíos, en ambos kostados de la rrueda ai agujeros bentiladores para establecer una komunikazion espedita kon la atmósfera. Estas aberturas se distingen mas fázilmente eksaminando la Fig. 15.

Una de las prinzipales kualidades de la turbina Girard es su alta efizienzia al trabajar kon kaudal rreduzido, konsiderazion de las mas importantes, segun se bió anteriormente, al tratarse de kaudales bariables de agua. Komo kada chorro obra independientemente de los otros, el número de aberturas puede rreduzirse segun sea la dotazion de agua disponible. El agua konsumida i el poder desarrollado están así, práktikamente, en esakta proporzion kon el número de aberturas usadas, i persiste la efizienzia de la rrueda, aunke el kaudal sea $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ i aun menos del korrespondiente a la máksima kapazidad de la turbina.

**83. Turbina tanjenzial o rrueda Pelton.**—Konsiste, segun lo indika la Fig. 16, en un disko o rrueda en kuyo kontorno ai una serie de dobles kucharones de fierro o de bronze, atornillados a interbalos ekidistantes. Así komo el ke akaba de deskribirse, funziona este motor esaktamente segun el mismo prinzipio: kombirtiendo en trabajo útil la enerjía kinétika de uno o mas chorros de agua, por medio del impulso debido al kambio gradual de momento. A fin de utilizar totalmente esta enerjía, los kucharones de la rrueda, despues de kojer el chorro—suponiendo se trate de uno solo, komo lo da a entender la figura—deberían traerlo al estado de reposo antes de baziarlo, sin dar lugar a rremolinos o ajitazion ulterior de las partíkulas. Pero esto es imposible en la práktika, i lo mas

ke se konsige es rreduzir a un mínimo la pérdida por belozidad o mobimiento sobrante inebitable del agua. Otra kausa sekundaria de pérdida es la imposibilidad de asegurar una libre desbiazion absolutamente uniforme i gradual del agua, sin deflekziones mas o menos bruskas ke dan lugar a impaktos, kon la konsigiente

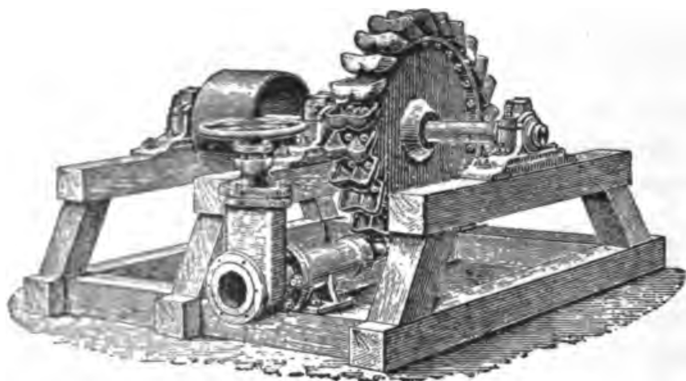


FIG. 16. RRUEDA PELTON.

trasformacion de la enerjía en kalor en lugar de trabajo útil: la forma bifurkada de los kucharones, bajo zierto ángulo determinable esperimentalmente o por el kálkulo, propende a la supresion de la indikada causa de pérdida. Finalmente, keda la rresistenzia frikzional del agua en mobimiento en kontakto kon la superfizie mojada, lo ke tambien akarrea la komberzion en kalor en bez de trabajo útil, de zierta suma de la enerjía del chorro: tiende a obbiar este inkombeniente la rredukzion al mínimo posible del área mojada por el chorro en el kortísimo tiempo ke este aktúa sobre kada kucharon.

Un estudio mui kompleto de las zirkunstanzias ke

prezeden an permitido llebar la rrueda Pelton a un alto grado de efizienzia, aun rreduziendo el kaudal normal de agua a un terzio o a la kuarta parte de su balor. Se azepta ke esa efizienzia, en regulares kondiziones de trabajo pasa jeneralmente del 80%, i aun suele llegar al 85%.

Estos datos sobre la efizienzia de la rrueda Pelton se allan de akuerdo kon los rresultados obtenidos en el Laboratorio de Físika industrial de la Unibersidad de Chile, kon un pekeño motor, N.° 2, de $0^m.275$ de diámetro, de la Pelton Water Wheel Company (Nueba York i San Franzisko.) El promedio de una serie de determinaziones es el sigiente: *—

| | | |
|---|---|---|
| Presion inizial disponible, $H$........ | 37·5 | 'metros' |
| Pérdida de karga, $h_p$.............. | 13·7 | „ |
| Presion efikaz, $h_u$................. | 23·8 | „ |
| Gasto, $q$, por segundo.............. | 2·39 | litros |
| Potenzia teórika, $qh_u$.............. | 56·88 | kgmts. |
| Potenzia efektiba, en el freno....... | 44·25 | „ |
| Rrendimiento medio..... | 77·8% | |

No ai ke olbidar ke se trata de una rrueda de las mas pekeñas, kuya efizienzia, komo suzede kon toda máksima, no puede ser komparable a la de las grandes rruedas, o sikiera medianas.

Para estos esperimentos empleóse un manómetro de merkurio, de aire libre. El gasto se medía kada bez direktamente. El freno empleado fué el modelo de kordel, segun lo rrekomienda el Profesor Jamieson en su *Applied Mechanics*.†

* De un trabajo de los alumnos don Franzisko Mardones, don Ernesto Singer i don Rrafael Edwards. (Kurso de 1898.)

† Segunda edizion, Londres 1897. (Griffin.)

Segun lo dicho en el § 76, la belozidad tanjenzial de la rrueda para la kondizion de mayor efizienzia debe ser igual a la mitad de la belozidad del chorro. En lugar de un solo chorro, komo indika la figura, pueden adoptarse dos o mas de modo ke obren tanjenzialmente; o bien la rrueda puede ser múltiple, montada en un mismo eje, kon una serie o batería de chorros ke puedan aktuar aisladamente o en konjunto. Kuando se aplikan dos o mas chorros a una misma rrueda, uno o mas de ellos pueden kortarse, kaso de no ser nezesario el poder adizional ke proporzionan, o bien si por kualkier motibo ai ke emplear solo una parte del kaudal de agua ordinario.

La rrueda Pelton es el motor idráuliko por eszelenzia de las altas kaídas, digamos desde 30 m. para arriba, sin ke esto implike ke en otras kondiziones de kaída no dé tambien los mejores rresultados, kon tal ke se mantenga la debida proporzion entre el diámetro de los chorros i el tamaño de los kucharones, etz. Sin embargo, no se rrekomienda para kaídas inferiores a 10 a 15 m., a menos ke se trate de pekeñas fuerzas.

Se komprende fázilmente ke el poder obtenido no depende del diámetro de la rrueda sino del balor de la kaída efikaz de ke se disponga i del kaudal de agua aprobechable. Kuando lo ke se persige es una fuerza konsiderable kon una kaída rrelatibamente pekeña, es nezesario entonzes emplear una rrueda mas grande, ke admita kucharones de mayor kapazidad; o bien puede apelarse al arbitrio de los chorros o de las rruedas múltiples, segun se insinuó anteriormente.

Se a objetado a este motor el ser mui sensible a los kambios de karga, zirkunstanzia ke dió lugar a algunas

kejas en los primeros tiempos en ke la rrueda Pelton se aplikó al mobimiento de dinamos para el alumbrado eléktriko; oi esta objezion tiene mucho menos rrazon de ser, bisto ke la rregulazion a mano puede rreemplazarse por el empleo de un gobernador diferenzial.

Komo el prinzipio bajo el kual funziona la rrueda Pelton es el del impulso del agua, será siempre deseable el empleo de la mas alta kaída efikaz ke sea posible obtener, siempre ke el balor de esta kaída pueda lograrse a rrazonable prezio, puesto ke el kaudal de agua, para una misma fuerza rrekerida, dekreze en proporzion direkta a todo aumento de $h_u$. Es ebidente ke para obtener un aumento kualkiera sobre un balor dado de la kaída efikaz disponible, es nezesario aumentar en zierta proporzion la lonjitud o el diámetro de la kañería, o ambos simultáneamente. Muchos kasos abrá en ke el konsigiente aumento de kosto kede mas ke kompensado kon lo ganado en potenzia útil. De kualkier modo ke sea, el asunto debe estudiarse kada bez kon sujezion a las konsideraziones ke sobre el lado ekonómiko de toda instalazion de kañería se izieron baler en el § 73.

A parte de la alta efizienzia i de otras kualidades de ke se a echo menzion, las prinzipales bentajas del motor ke nos okupa konsisten prinzipalmente en la senzillez de su konstrukzion, la fazilidad de su manejo i de su instalazion etz.; a todo lo kual debe agregarse todabía su rrelatibo bajo kosto. Azerka de este partikular debe dezirse ke mientras mas alto ba siendo la kaída, para una misma potenzia, mas ekonómika se ba aziendo komo kosto de primera instalazion la rrueda Pelton sobre la turbina Girard, komo lo indika el sigiente kuadro komparatibo, para dos balores de $h_u$:—

**KOSTO KOMPARATIVO APROKSIMADO DE LA TURBINA GIRARD I LA RRUEDA PELTON.**

**(En pesos chilenos de 18d.)**

**KAÍDA DE 30 METROS.**

| Kaballos: | 15 | 30 | 45 | 70 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|
| Girard.. | $ 700 | $ 1 100 | $ 1 250 | $ 1 400 | $ 1 500 |
| Pelton.. | „ 650 | „ 800 | „ 1 000 | „ 1 200 | „ 1 350 |

**KAÍDA DE 100 METROS.**

| Kaballos: | 100 | 150 | 250 | 350 |
|---|---|---|---|---|
| Girard.. | $ 1 500 | $ 1 900 | $ 2 300 | $ —— |
| Pelton.. | „ 800 | „ 1 000 | „ 1 300 | „ 1 700 |

**84. Motores de presion.**—En el § 52 se trató del aprobechamiento de la fuerza motriz del agua potable en los rramales de serbizio, sin hazer menzion espezial de los motores mas adaptables al kaso. Podemos agregar akí ke los pekeños tipos de rruedas o motores Pelton—de 15 a 30 zm. de diámetro—se prestan admirablemente al aprobechamiento indikado, tanto por la senzillez de su konstrukzion i de su manejo, kuanto por su alta efikazia, no obstante tratarse de los tipos mas pekeños de la serie.

Pero fuera de las rruedas de impulso, ai todabía otra kategoría de motores ke en ziertas kondiziones pueden dar rresultados tan buenos komo los de akellas, al tratarse de una distribuzion o utilizazion de fuerza por medio de kañerías: rreferímonos a las mákinas de presion kon pistones mobidos por el agua, al estilo en ke aktúa el bapor en las mákinas de este nombre. La Fig. 17 rrepresenta un pekeño motor de esta klase—llamado

'motor suizo,' echo por Schmid, de Zurich—ke a sido mui usado en los sistemas de distribuzion idráulika de potenzia.* La figura es sufizientemente klara para demostrar sin otra esplikazion, komo funziona el aparato, al kombertirse en mobimiento rrotatorio la presion ejerzida por el agua alternativamente sobre las superfizies

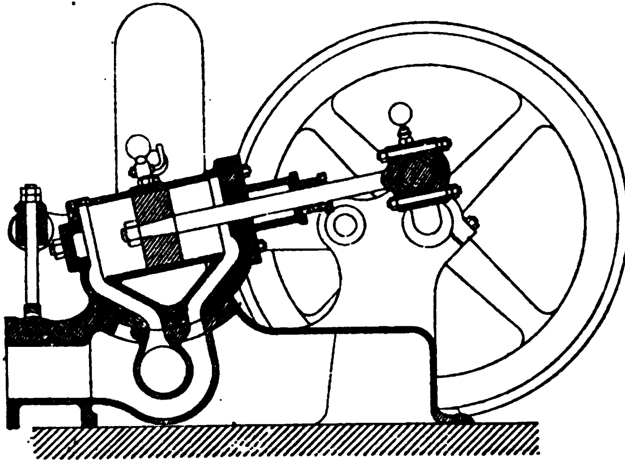


FIG. 17.—MOTOR SUIZO.

opuestas del émbolo. La kantidad de agua es konstante por kada golpe de émbolo, ya sea grande, ya pekeño el esfuerzo rrealizado por el motor: de akí se sige ke si bien a plena karga la efizienzia puede alkanzar asta 80%, komo en las buenas turbinas, en kualeskiera otras kondiziones de trabajo el rrendimiento tiene ke ser menor. A media karga, por ejemplo, la efizienzia será menos de 40%. Bajo una presion de 30 'metros' la frikzion del

* Unwin, ob. zit., p. 96.

aparato es solo komo del 5%. Es fázil darse kuenta, por último, de ke el mismo motor puede medir kon esaktitud el agua gastada, mediante el agregado de un kontador de bueltas, i konozido el bolúmen de agua desalojado en kada buelta.

# TABLAS NUMÉRIKAS.

## TABLA I.—Komparazion de la gama I-V kon las fórmulas mas en uso.*

(Orijinal)

| FÓRMULA | J ·001 | ·002 | ·005 | ·010 | ·050 | ·100 | 1·000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LITROS POR SEGUNDO | | | | | | |
| | D = 0m.050 | | | | | | |
| I | ·32 | ·48 | ·79 | 1·17 | 2·85 | 4·20 | 15·00 |
| II | ·31 | ·46 | ·75 | 1·09 | 2·61 | 3·79 | 13·70 |
| III | ·30 | ·44 | ·71 | 1.02 | 2·39 | 3.44 | 11·57 |
| IV | ·29 | ·42 | ·67 | ·96 | 2·20 | 3·14 | 10·24 |
| V | ·28 | ·41 | ·64 | ·91 | 2·04 | 2·89 | 9·14 |
| Darcy 1.a | ·35 | ·50 | ·79 | 1·12 | 2·50 | 3·53 | 11·20 |
| Rankine | ·35 | ·50 | ·79 | 1·12 | 2·50 | 3·53 | 11·20 |
| Colombo | ·35 | ·50 | ·79 | 1·12 | 2·50 | 3·53 | 11·20 |
| De Prony | ·33 | ·48 | ·79 | 1·13 | 2·58 | 3·67 | 11·76 |
| Thrupp 1.a | ·31 | ·46 | ·75 | 1·09 | 2·60 | 3·79 | 13·17 |
| Trautwine | ·28 | ·42 | ·70 | 1·04 | 2·56 | 3·72 | 12.20 |
| Flamant | ·24 | ·36 | ·61 | ·90 | 2 26 | 3·37 | 12.55 |
| Darcy 2.a | ·25 | ·35 | ·55 | ·79 | 1.76 | 2·51 | 7·90 |
| Thrupp 2.a | ·13 | ·19 | ·30 | ·42 | ·95 | 1·34 | 4.24 |
| | D = 0m.100 | | | | | | |
| I | 2·06 | 3·03 | 5·04 | 7·41 | 18·10 | 26·60 | 95·75 |
| II | 1·93 | 2·82 | 4·62 | 6·72 | 16·04 | 23·33 | 81·02 |
| III | 1·82 | 2·63 | 4·25 | 6·13 | 14·29 | 20·58 | 69·15 |
| IV | 1.72 | 2·43 | 3·93 | 5·61 | 12·81 | 18·27 | 59·52 |
| V | 1·63 | 2 31 | 3·65 | 5·16 | 11·55 | 16·34 | 51·67 |
| Darcy 1.a | 2·20 | 3·11 | 4·92 | 6·96 | 15·56 | 22·00 | 69·62 |
| Rankine | 2·20 | 3·11 | 4·92 | 6·94 | 15·54 | 21·96 | 69·50 |
| Colombo | 2 00 | 2·82 | 4·47 | 6·32 | 14·14 | 20·00 | 63·24 |
| Thrupp 1.a | 2·00 | 2·90 | 4·78 | 6·95 | 16·60 | 24·14 | 83 80 |
| De Prony | 1·92 | 2·20 | 4·51 | 6·45 | 13·89 | 20·85 | 66·85 |
| Trautwine | 1·69 | 2·68 | 4·43 | 6·67 | 15·52 | 21·94 | 70·70 |
| Flamant | 1·59 | 2·36 | 3·99 | 5·92 | 14·87 | 22·10 | 82·37 |
| Darcy 2.a | 1·56 | 2·20 | 3·48 | 4·92 | 11·00 | 15·56 | 49·22 |
| Thrupp 2.a | ·85 | 1·20 | 1·90 | 2·68 | 6·04 | 8·49 | 26·85 |

* Aplikable solo a las kañerías 'largas'. Ber §§ 21 i 35.

**TABLA I.—Komparazion de la gama I-V kon las fórmulas mas en uso.***—[*Kontinuada.*]

(Orijinal)

| FÓRMULA | *J* ·001 | ·002 | ·005 | ·010 | ·050 | ·100 | 1·000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LITROS POR SEGUNDO | | | | | | |
| | D = 0m.200 | | | | | | |
| I | 13 | 19 | 32 | 47 | 115 | 169 | 608 |
| II | 12 | 17 | 28 | 41 | 99 | 144 | 499 |
| III | 11 | 16 | 25 | 37 | 85 | 123 | 413 |
| IV | 10 | 14 | 23 | 33 | 74 | 106 | 346 |
| V | 9 | 13 | 21 | 29 | 65 | 92 | 292 |
| Darcy 1.a | 13 | 18 | 29 | 42 | 93 | 131 | 415 |
| Rankine | 13 | 18 | 29 | 42 | 93 | 131 | 414 |
| Thrupp 1.a | 13 | 18 | 30 | 44 | 106 | 154 | 533 |
| De Prony | 11 | 18 | 26 | 37 | 83 | 117 | 376 |
| Colombo | 11 | 16 | 25 | 36 | 80 | 113 | 358 |
| Trautwine | 11 | 17 | 28 | 40 | 91 | 131 | 422 |
| Flamant | 10 | 15 | 26 | 39 | 98 | 145 | 540 |
| Darcy 2.a | 9 | 13 | 21 | 29 | 66 | 93 | 294 |
| Thrupp 2.a | 5 | 8 | 12 | 17 | 38 | 54 | 170 |
| | D = 0m.300 | | | | | | |
| I | 39 | 57 | 94 | 139 | 339 | 499 | 1 792 |
| II | 34 | 50 | 82 | 120 | 286 | 416 | 1 444 |
| III | 31 | 45 | 72 | 104 | 243 | 350 | 1 176 |
| IV | 28 | 39 | 64 | 91 | 208 | 297 | 968 |
| V | 25 | 36 | 57 | 80 | 180 | 255 | 805 |
| Thrupp 1.a | 38 | 55 | 90 | 131 | 312 | 454 | 1 574 |
| Darcy 1.a | 37 | 52 | 82 | 117 | 261 | 369 | 1 167 |
| Rankine | 37 | 52 | 82 | 116 | 260 | 368 | 1 164 |
| Trautwine | 35 | 48 | 78 | 116 | 270 | 381 | 1 206 |
| Flamant | 31 | 46 | 79 | 114 | 293 | 427 | 1 590 |
| De Prony | 31 | 45 | 72 | 102 | 230 | 336 | 1 036 |
| Colombo | 31 | 44 | 70 | 98 | 220 | 312 | 986 |
| Darcy 2.a | 26 | 37 | 58 | 82 | 185 | 261 | 825 |
| Thrupp 2.a | 16 | 22 | 35 | 50 | 112 | 158 | 499 |

* Aplikable solo a las kañerías 'largas'. Ber §§ 21 i 35.

**TABLA I.—Komparazion de la gama I-V kon las fórmulas mas en uso.*—**[*Kontinuada.*]

(Orijinal)

| FÓRMULA | J ·001 | ·002 | ·005 | ·010 | ·050 | ·100 | 1·000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LITROS POR SEGUNDO | | | | | | |
| | D = 0m.400 | | | | | | |
| I | 83 | 122 | 208 | 299 | 731 | 1 074 | 3 860 |
| II | 73 | 107 | 175 | 254 | 608 | 884 | 3 069 |
| III | 65 | 94 | 152 | 219 | 510 | 735 | 2 469 |
| IV | 58 | 82 | 133 | 190 | 432 | 618 | 2 013 |
| V | 52 | 74 | 117 | 165 | 370 | 523 | 1 654 |
| Thrupp 1.ª | 81 | 118 | 194 | 282 | 672 | 978 | 3 395 |
| Darcy 1.ª | 77 | 108 | 171 | 242 | 542 | 767 | 2 425 |
| Rankine | 76 | 107 | 171 | 241 | 539 | 763 | 2 412 |
| Trautwine | 71 | 105 | 169 | 244 | 558 | 815 | 2 561 |
| Flamant | 68 | 102 | 172 | 255 | 640 | 952 | 3 548 |
| De Prony | 64 | 92 | 148 | 209 | 473 | 671 | 2 127 |
| Colombo | 64 | 90 | 143 | 202 | 452 | 640 | 2 024 |
| Darcy 2.ª | 54 | 77 | 121 | 171 | 383 | 542 | 1 713 |
| Thrupp 2.ª | 34 | 48 | 76 | 107 | 240 | 339 | 1 072 |
| | D = 0m.500 | | | | | | |
| I | 151 | 222 | 369 | 542 | 1 325 | 1 948 | 7 000 |
| II | 131 | 191 | 314 | 457 | 1 091 | 1 587 | 5 508 |
| III | 116 | 167 | 270 | 389 | 907 | 1 306 | 4 390 |
| IV | 102 | 144 | 234 | 334 | 762 | 1 087 | 3 540 |
| V | 91 | 129 | 204 | 289 | 646 | 913 | 2 888 |
| Thrupp 1.ª | 147 | 214 | 351 | 511 | 1 217 | 1 774 | 6 160 |
| Darcy 1.ª | 134 | 190 | 300 | 425 | 951 | 1 345 | 4 252 |
| Rankine | 134 | 189 | 300 | 424 | 946 | 1 341 | 4 242 |
| Trautwine | 132 | 193 | 311 | 447 | 1 009 | 1 489 | 4 623 |
| Flamant | 125 | 186 | 316 | 468 | 1 173 | 1 744 | 6 500 |
| De Prony | 114 | 163 | 260 | 371 | 858 | 1 182 | 3 769 |
| Colombo | 112 | 158 | 250 | 353 | 791 | 1 118 | 3 535 |
| Darcy 2.ª | 95 | 134 | 212 | 301 | 672 | 951 | 3 007 |
| Thrupp 2.ª | 61 | 87 | 137 | 194 | 434 | 614 | 1 492 |

* Aplikable solo a las kañerías 'largas'. Ber §§ 21 i 35.

## TABLA I.—Komparazion de la gama I-V kon las fórmulas mas en uso.*—[*Kontinuada.*]

(Orijinal)

| FÓRMULA | *J* ·001 | ·002 | ·005 | ·010 | ·050 | ·100 | 1·000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LITROS POR SEGUNDO | | | | | | |
| | D = 0m.600 | | | | | | |
| I | 245 | 360 | 600 | 881 | 2 155 | 3 167 | 11 382 |
| II | 212 | 309 | 507 | 787 | 1 759 | 2 559 | 8 885 |
| III | 185 | 267 | 432 | 622 | 1 451 | 2 090 | 7 024 |
| IV | 168 | 229 | 371 | 530 | 1 210 | 1 726 | 5 622 |
| V | 144 | 204 | 322 | 457 | 1 019 | 1 441 | 4 557 |
| Thrupp 1.a | 239 | 348 | 572 | 831 | 1 985 | 2 887 | 10 022 |
| Trautwine | 215 | 321 | 516 | 741 | 1 683 | 2 380 | 7 528 |
| Darcy 1.a | 213 | 301 | 477 | 674 | 1 507 | 2 132 | 6 742 |
| Rankine | 212 | 300 | 474 | 671 | 1 500 | 2 121 | 6 708 |
| Flamant | 206 | 306 | 516 | 767 | 1 925 | 2 860 | 10 663 |
| De Prony | 179 | 255 | 408 | 580 | 1 035 | 1 849 | 5 862 |
| Colombo | 176 | 249 | 394 | 558 | 1 247 | 1 764 | 5 577 |
| Darcy 2.a | 150 | 213 | 337 | 476 | 1 065 | 1 506 | 4 762 |
| Thrupp 2.a | 100 | 141 | 223 | 315 | 705 | 997 | 3 154 |
| | D = 0m.700 | | | | | | |
| I | 370 | 544 | 904 | 1 329 | 3 250 | 4 778 | 17 170 |
| II | 318 | 463 | 759 | 1 104 | 2 635 | 3 833 | 13 308 |
| III | 276 | 397 | 643 | 926 | 2 160 | 3 111 | 10 454 |
| IV | 241 | 339 | 549 | 784 | 1 789 | 2 553 | 8 315 |
| V | 212 | 300 | 474 | 670 | 1 464 | 2 118 | 6 700 |
| Thrupp 1.a | 361 | 526 | 863 | 1 255 | 2 996 | 4 357 | 15 127 |
| Trautwine | 323 | 479 | 783 | 1 107 | 2 513 | 3 554 | 11 240 |
| Darcy 1.a | 313 | 442 | 700 | 993 | 2 224 | 3 147 | 9 937 |
| Rankine | 313 | 442 | 700 | 991 | 2 216 | 3 134 | 9 909 |
| Flamant | 313 | 465 | 785 | 1 166 | 2 925 | 4 347 | 16 204 |
| De Prony | 263 | 376 | 600 | 853 | 1 911 | 2 721 | 8 623 |
| Colombo | 259 | 366 | 580 | 820 | 1 834 | 2 593 | 8 200 |
| Darcy 2.a | 222 | 314 | 496 | 702 | 1 569 | 2 219 | 7 018 |
| Thrupp 2.a | 150 | 212 | 336 | 474 | 1 063 | 1 499 | 4 741 |

* Aplikable solo a las kañerías 'largas.' Ber §§ 21 i 35.

**TABLA I.—Komparazion de la gama I-V kon las fórmulas mas en uso.***—[*Kontinuada.*]

(Orijinal)

| FÓRMULA | J ·001 | ·002 | ·005 | ·010 | ·050 | ·100 | 1·000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LITROS POR SEGUNDO | | | | | | |
| | D = 0m.800 | | | | | | |
| I | 528 | 776 | 1 291 | 1 898 | 4 640 | 6 820 | 25 080 |
| II | 451 | 657 | 1 077 | 1 567 | 3 741 | 5 441 | 18 890 |
| III | 389 | 560 | 907 | 1 307 | 3 048 | 4 390 | 14 750 |
| IV | 338 | 476 | 771 | 1 100 | 2 511 | 3 583 | 11 671 |
| V | 296 | 418 | 661 | 985 | 2 092 | 2 958 | 9 355 |
| Thrupp 1.a | 516 | 751 | 1 232 | 1 792 | 4 278 | 6 238 | 21 606 |
| Trautwine | 458 | 680 | 1 110 | 1 570 | 3 563 | 5 004 | 15 937 |
| Flamant | 449 | 669 | 1 128 | 1 676 | 4 203 | 6 246 | 23 282 |
| Darcy 1.a | 442 | 625 | 988 | 1 398 | 3 126 | 4 420 | 13 979 |
| Rankine | 438 | 620 | 979 | 1 385 | 3 097 | 4 380 | 13 850 |
| De Prony | 369 | 525 | 839 | 1 192 | 2 681 | 3 796 | 12 030 |
| Colombo | 362 | 512 | 810 | 1 445 | 2 560 | 3 620 | 11 449 |
| Darcy 2.a | 311 | 440 | 695 | 983 | 2 198 | 3 108 | 9 829 |
| Thrupp 2.a | 214 | 303 | 479 | 678 | 1 516 | 2 144 | 6 779 |
| | D = 0m.900 | | | | | | |
| I | 723 | 1 063 | 1 748 | 2 598 | 6 353 | 9 337 | 33 557 |
| II | 615 | 894 | 1 467 | 2 134 | 5 093 | 7 408 | 25 720 |
| III | 527 | 759 | 1 229 | 1 770 | 4 130 | 5 949 | 19 988 |
| IV | 455 | 642 | 1 040 | 1 483 | 3 386 | 4 832 | 15 739 |
| V | 397 | 561 | 888 | 1 256 | 2 807 | 3 971 | 12 556 |
| Thrupp 1.a | 709 | 1 031 | 1 692 | 2 461 | 5 874 | 8 548 | 29 660 |
| Trautwine | 656 | 942 | 1 513 | 2 139 | 4 857 | 6 869 | 21 718 |
| Flamant | 619 | 920 | 1 517 | 2 307 | 5 786 | 8 599 | 32 053 |
| Darcy 1.a | 591 | 835 | 1 321 | 1 868 | 4 177 | 5 908 | 18 683 |
| Rankine | 589 | 832 | 1 367 | 1 863 | 4 166 | 5 892 | 18 633 |
| De Prony | 496 | 706 | 1 132 | 1 615 | 3 607 | 5 116 | 16 144 |
| Colombo | 484 | 687 | 1 087 | 1 537 | 3 437 | 4 860 | 15 369 |
| Darcy 2.a | 418 | 592 | 936 | 1 324 | 2 961 | 4 187 | 13 241 |
| Thrupp 2.a | 293 | 415 | 656 | 927 | 2 074 | 2 933 | 9 273 |

* Aplikable solo a las kañerías 'largas'. Ber §§ 21 i 35.

**TABLA I.—Komparazion de la gama I-V kon las fórmulas mas en uso.*—[*Kontinuada.*]**

(Orijinal)

| FÓRMULA | J | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ·001 | .002 | ·005 | ·010 | ·050 | ·100 | 1·000 |
| | LITROS POR SEGUNDO | | | | | | |
| | D = 1m.000 | | | | | | |
| I...... | 957 | 1 407 | 2 341 | 3 441 | 8 414 | 12 367 | 44 445 |
| II..... | 810 | 1 178 | 1 934 | 2 812 | 6 718 | 9 764 | 33 898 |
| III... | 692 | 996 | 1 613 | 2 323 | 5 418 | 7 806 | 26 226 |
| IV.... | 595 | 839 | 1 358 | 1 938 | 4 425 | 6 318 | 20 563 |
| V..... | 517 | 731 | 1 155 | 1 634 | 3 654 | 5 168 | 16 343 |
| Thrupp 1.a. | 937 | 1 363 | 2 236 | 3 253 | 7 763 | 11 298 | 39 204 |
| Trautwine... | 880 | 1 245 | 1 969 | 2 778 | 6 320 | 8 938 | 28 263 |
| Flamant...... | 824 | 1 224 | 2 066 | 3 078 | 7 703 | 11 446 | 42 665 |
| Darcy 1.a .... | 770 | 1 089 | 1 722 | 2 436 | 5 447 | 7 703 | 24 862 |
| Rankine....... | 768 | 1 085 | 1 716 | 2 427 | 5 428 | 7 676 | 24 273 |
| De Prony..... | 649 | 992 | 1 441 | 2 086 | 4 889 | 6 648 | 20 941 |
| Colombo...... | 632 | 894 | 1 414 | 2 000 | 4 472 | 6 325 | 20 000 |
| Darcy 2.a .... | 545 | 770 | 1 218 | 1 723 | 3 852 | 5 447 | 17 227 |
| Thrupp 2.a. | 388 | 549 | 868 | 1 227 | 2 745 | 3 880 | 12 273 |
| | D = 1m.500 | | | | | | |
| I...... | 2 823 | 4 149 | 6 902 | 10 145 | 24 808 | 36 461 | 130 870 |
| II..... | 2 346 | 3 412 | 5 599 | 8 143 | 19 437 | 28 270 | 98 140 |
| III... | 1 968 | 2 838 | 4 590 | 6 611 | 15 422 | 22 211 | 74 625 |
| IV.... | 1 666 | 2 377 | 3 808 | 5 426 | 12 386 | 17 672 | 57 560 |
| V..... | 1 290 | 1 805 | 2 883 | 4 078 | 9 118 | 12 896 | 40 779 |
| Thrupp 1.a. | 2 766 | 4 023 | 6 600 | 9 603 | 22 920 | 33 340 | 115 740 |
| Trautwine... | 2 683 | 3 795 | 6 000 | 8 601 | 19 240 | 27 200 | 86 018 |
| Flamant...... | 2 476 | 3 679 | 6 210 | 9 294 | 23 152 | 34 404 | 128 240 |
| Darcy 1.a .... | 2 131 | 3 014 | 4 765 | 6 739 | 15 070 | 21 313 | 67 397 |
| Rankine....... | 2 123 | 3 002 | 4 748 | 6 715 | 15 016 | 21 235 | 67 152 |
| De Prony..... | 1 791 | 2 638 | 4 058 | 5 758 | 12 927 | 18 300 | 57 965 |
| Colombo...... | 1 743 | 2 464 | 3 888 | 5 511 | 12 324 | 17 430 | 55 114 |
| Darcy 2.a .... | 1 507 | 2 132 | 3 371 | 4 767 | 10 660 | 15 076 | 47 673 |
| Thrupp 2.a. | 1 141 | 1 614 | 2 552 | 3 609 | 8 069 | 11 410 | 36 086 |

* Aplikable solo a las kañerías 'largas.' Ber §§ 21 i 35.

## TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula I.

[n = 1·8 m = 1·2 K = ·0007]

| D | r | log r | $r^{\frac{1\cdot0}{1\cdot8}}$ | log $r^{\frac{1\cdot0}{1\cdot8}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | 1900 · 550 | 3 · 27887 | 66 · 313 | 1 · 82160 |
| ·055 | 1202 · 800 | 3 · 08019 | 51 · 432 | 1 · 71123 |
| ·060 | 792 · 150 | 2 · 89881 | 40 · 780 | 1 · 61045 |
| ·065 | 539 · 450 | 2 · 73195 | 32 · 942 | 1 · 51775 |
| ·070 | 377 · 980 | 2 · 57746 | 27 · 034 | 1 · 43191 |
| ·075 | 271 · 420 | 2 · 43364 | 22 · 491 | 1 · 35200 |
| ·080 | 199 · 120 | 2 · 29911 | 18 · 934 | 1 · 27724 |
| ·085 | 148 · 840 | 2 · 17272 | 16 · 109 | 1 · 20707 |
| ·090 | 113 · 130 | 2 · 05358 | 13 · 831 | 1 · 14085 |
| ·095 | 87 · 269 | 1 · 94086 | 11 · 975 | 1 · 07828 |
| ·100 | 68 · 224 | 1 · 83394 | 10 · 444 | 1 · 01887 |
| ·110 | 43 · 177 | 1 · 63525 | 8 · 0997 | 0 · 90847 |
| ·120 | 28 · 436 | 1 · 45387 | 6 · 4224 | 0 · 80770 |
| ·130 | 19 · 364 | 1 · 28699 | 5 · 1880 | 0 · 71500 |
| ·140 | 13 · 568 | 1 · 13252 | 4 · 2577 | 0 · 62917 |
| ·150 | 9 · 7431 | 0 · 98870 | 3 · 5411 | 0 · 54914 |
| ·160 | 7 · 1476 | 0 · 85416 | 2 · 9821 | 0 · 47452 |
| ·170 | 5 · 3430 | 0 · 72778 | 2 · 5370 | 0 · 40432 |
| ·180 | 4 · 0605 | 0 · 60858 | 2 · 1780 | 0 · 33806 |
| ·190 | 3 · 1327 | 0 · 49592 | 1 · 8858 | 0 · 27550 |
| ·200 | 2 · 4490 | 0 · 38899 | 1 · 6448 | 0 · 21611 |
| ·220 | 1 · 5499 | 0 · 19030 | 1 · 2756 | 0 · 10571 |
| ·240 | 1 · 02015 | 0 · 00892 | 1 · 0115 | 0 · 00497 |
| ·260 | · 69513 | $\bar{1}$ · 84207 | · 8171 | $\bar{1}$ · 91227 |
| ·280 | · 48705 | $\bar{1}$ · 68757 | · 67054 | $\bar{1}$ · 82642 |

## TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.—[*Kontinuada*]

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula I.—[*Kontinuada*].

**[n = 1·8 m = 1·2 K = 0·0007]**

| $D$ | $r$ | $\log r$ | $r^{\frac{10}{18}}$ | $\log r^{\frac{10}{18}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·34975 | $\bar{1}$·54376 | ·55786 | $\bar{1}$·74652 |
| ·320 | ·25658 | $\bar{1}$·40922 | ·46901 | $\bar{1}$·67118 |
| ·340 | ·19180 | $\bar{1}$·28285 | ·39955 | $\bar{1}$·60157 |
| ·360 | ·145775 | $\bar{1}$·16367 | ·34304 | $\bar{1}$·53534 |
| ·380 | ·112455 | $\bar{1}$·05096 | ·29702 | $\bar{1}$·47278 |
| ·400 | ·087912 | $\bar{2}$·94405 | ·25903 | $\bar{1}$·41335 |
| ·420 | ·069557 | $\bar{2}$·84234 | ·22743 | $\bar{1}$·35685 |
| ·440 | ·055687 | $\bar{2}$·74536 | ·20089 | $\bar{1}$·30296 |
| ·460 | ·044996 | $\bar{2}$·65317 | ·17855 | $\bar{1}$·25176 |
| ·480 | ·036640 | $\bar{2}$·56395 | ·15926 | $\bar{1}$·20211 |
| ·500 | ·030122 | $\bar{2}$·47888 | ·14287 | $\bar{1}$·15494 |
| ·520 | ·024958 | $\bar{2}$·39712 | ·12868 | $\bar{1}$·10951 |
| ·540 | ·020818 | $\bar{2}$·31844 | ·11636 | $\bar{1}$·06580 |
| ·560 | ·017485 | $\bar{2}$·24266 | ·10560 | $\bar{1}$·02366 |
| ·580 | ·014773 | $\bar{2}$·16947 | ·09617 | $\bar{2}$·98304 |
| ·600 | ·012555 | $\bar{2}$·09882 | ·08786 | $\bar{2}$·94379 |
| ·650 | ·008550 | $\bar{3}$·93197 | ·07096 | $\bar{2}$·85101 |
| ·700 | ·005990 | $\bar{3}$·77743 | ·05824 | $\bar{2}$·76522 |
| ·750 | ·004302 | $\bar{3}$·63367 | ·04845 | $\bar{2}$·68529 |
| ·800 | ·003156 | $\bar{3}$·49914 | ·04080 | $\bar{2}$·61066 |
| ·850 | ·002359 | $\bar{3}$·37273 | ·03470 | $\bar{2}$·54033 |
| ·900 | ·001793 | $\bar{3}$·25358 | ·02980 | $\bar{2}$·47422 |
| ·950 | ·001383 | $\bar{3}$·14082 | ·02580 | $\bar{2}$·41162 |
| 1·000 | ·001081 | $\bar{3}$·03383 | ·02250 | $\bar{2}$·35218 |

**TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.**—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

**Fórmula II.**

[n = 1·85 m = 1·15 K = ·000944]

| $D$ | $r$ | $\log r$ | $r^{\frac{100}{185}}$ | $\log r^{\frac{100}{185}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | 3018 · 50 | 3 · 47907 | 75 · 9570 | 1 · 88056 |
| ·055 | 1898 · 00 | 3 · 27830 | 59 · 1630 | 1 · 77205 |
| ·060 | 1244 · 60 | 3 · 09503 | 47 · 0960 | 1 · 67298 |
| ·065 | 844 · 17 | 2 · 92643 | 38 · 1810 | 1 · 58185 |
| ·070 | 589 · 29 | 2 · 77033 | 31 · 4400 | 1 · 49748 |
| ·075 | 421 · 71 | 2 · 62501 | 26 · 2370 | 1 · 41891 |
| ·080 | 308 · 37 | 2 · 48907 | 22 · 1540 | 1 · 34545 |
| ·085 | 229 · 81 | 2 · 36137 | 18 · 8980 | 1 · 27642 |
| ·090 | 174 · 17 | 2 · 24097 | 16 · 2680 | 1 · 21133 |
| ·095 | 134 · 00 | 2 · 12710 | 14 · 1200 | 1 · 14983 |
| ·100 | 104 · 485 | 2 · 01905 | 12 · 3420 | 1 · 09139 |
| ·110 | 65 · 812 | 1 · 81830 | 9 · 6130 | 0 · 98286 |
| ·120 | 43 · 155 | 1 · 63503 | 7 · 6520 | 0 · 88377 |
| ·130 | 29 · 271 | 1 · 46644 | 6 · 2040 | 0 · 79267 |
| ·140 | 20 · 433 | 1 · 31033 | 5 · 1080 | 0 · 70825 |
| ·150 | 14 · 622 | 1 · 16500 | 4 · 2630 | 0 · 62971 |
| ·160 | 10 · 694 | 1 · 02914 | 3 · 6000 | 0 · 55630 |
| ·170 | 7 · 9685 | 0 · 90138 | 3 · 0710 | 0 · 48728 |
| ·180 | 6 · 0393 | 0 · 78099 | 2 · 6430 | 0 · 42210 |
| ·190 | 4 · 6463 | 0 · 66711 | 2 · 2940 | 0 · 36059 |
| ·200 | 3 · 6230 | 0 · 55907 | 2 · 0050 | 0 · 30211 |
| ·220 | 2 · 2819 | 0 · 35830 | 1 · 5620 | 0 · 19368 |
| ·240 | 1 · 4964 | 0 · 17505 | 1 · 2430 | 0 · 09447 |
| ·260 | 1 · 0149 | 0 · 00642 | 1 · 0080 | 0 · 00346 |
| ·280 | · 70850 | $\bar{1}$ · 85034 | · 83006 | $\bar{1}$ · 91911 |

# TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula II.—[*Kontinuada*].

**[n = 1·85 m = 1·15 K = ·000944]**

| *D* | *r* | log *r* | $r^{\frac{100}{185}}$ | log $r^{\frac{100}{185}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·50701 | $\bar{1}$·70502 | ·69270 | $\bar{1}$·84054 |
| ·320 | ·37075 | $\bar{1}$·56908 | ·58358 | $\bar{1}$·76610 |
| ·340 | ·27630 | $\bar{1}$·44138 | ·49894 | $\bar{1}$·69805 |
| ·360 | ·20941 | $\bar{1}$·32100 | ·42951 | $\bar{1}$·63297 |
| ·380 | ·16110 | $\bar{1}$·20710 | ·37281 | $\bar{1}$·57149 |
| ·400 | ·12562 | $\bar{1}$·09906 | ·32584 | $\bar{1}$·51300 |
| ·420 | ·099311 | $\bar{2}$·99699 | ·28672 | $\bar{1}$·45746 |
| ·440 | ·079125 | $\bar{2}$·89831 | ·25380 | $\bar{1}$·40449 |
| ·460 | ·063851 | $\bar{2}$·80517 | ·22602 | $\bar{1}$·35415 |
| ·480 | ·051884 | $\bar{2}$·71503 | ·20203 | $\bar{1}$·30542 |
| ·500 | ·042565 | $\bar{2}$·62905 | ·18154 | $\bar{1}$·25897 |
| ·520 | ·035192 | $\bar{2}$·54644 | ·16379 | $\bar{1}$·21429 |
| ·540 | ·029306 | $\bar{2}$·46696 | ·14836 | $\bar{1}$·17132 |
| ·560 | ·024567 | $\bar{2}$·39035 | ·13487 | $\bar{1}$·12992 |
| ·580 | ·020722 | $\bar{2}$·31643 | ·12294 | $\bar{1}$·08969 |
| ·600 | ·017580 | $\bar{2}$·24502 | ·11255 | $\bar{1}$·05135 |
| ·650 | ·011924 | $\bar{2}$·07642 | ·09125 | $\bar{2}$·96023 |
| ·700 | ·008324 | $\bar{3}$·92033 | ·07514 | $\bar{2}$·87587 |
| ·750 | ·005957 | $\bar{3}$·77503 | ·06270 | $\bar{2}$·79727 |
| ·800 | ·004356 | $\bar{3}$·63909 | ·05294 | $\bar{2}$·72378 |
| ·850 | ·003246 | $\bar{3}$·51135 | ·04516 | $\bar{2}$·65475 |
| ·900 | ·002460 | $\bar{3}$·39093 | ·03888 | $\bar{2}$·58973 |
| ·950 | ·001893 | $\bar{3}$·27715 | ·03375 | $\bar{2}$·52827 |
| 1·000 | ·001476 | $\bar{3}$·16909 | ·02950 | $\bar{2}$·46982 |

**TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.**—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula III.

**[n = 1·9 m = 1·10 K = ·0012736]**

| $D$ | $r$ | $\log r$ | $r^{\frac{10}{19}}$ | $\log r^{\frac{10}{19}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | 4779·80 | 3·67941 | 86·403 | 1·93653 |
| ·055 | 2996·30 | 3·47658 | 67·574 | 1·82978 |
| ·060 | 1956·20 | 3·29141 | 53·992 | 1·73233 |
| ·065 | 1321·55 | 3·12108 | 43·921 | 1·64267 |
| ·070 | 919·14 | 2·96338 | 36·281 | 1·55968 |
| ·075 | 655·48 | 2·81656 | 30·667 | 1·48240 |
| ·080 | 477·77 | 2·67922 | 25·711 | 1·41012 |
| ·085 | 354·98 | 2·55020 | 21·990 | 1·34222 |
| ·090 | 268·27 | 2·42857 | 18·975 | 1·27818 |
| ·095 | 205·83 | 2·31351 | 16·506 | 1·21764 |
| ·100 | 160·090 | 2·20436 | 14·4600 | 1·16017 |
| ·110 | 100·355 | 2·00154 | 11·3100 | 1·05346 |
| ·120 | 65·520 | 1·81637 | 9·0362 | 0·95598 |
| ·130 | 44·263 | 1·64604 | 7·3510 | 0·86634 |
| ·140 | 30·785 | 1·48834 | 6·0720 | 0·78333 |
| ·150 | 21·953 | 1·34149 | 5·0822 | 0·70605 |
| ·160 | 16·002 | 1·20417 | 4·3032 | 0·63379 |
| ·170 | 11·889 | 1·07514 | 3·6802 | 0·56587 |
| ·180 | 8·981 | 0·95332 | 3·1760 | 0·50188 |
| ·190 | 6·894 | 0·83847 | 2·7625 | 0·44130 |
| ·200 | 5·3618 | 0·72931 | 2·4202 | 0·38385 |
| ·220 | 3·3612 | 0·52649 | 1·8927 | 0·27708 |
| ·240 | 2·1945 | 0·34133 | 1·5123 | 0·17964 |
| ·260 | 1·4825 | 0·17099 | 1·2303 | 0·09001 |
| ·280 | 1·0311 | 0·01330 | 1·0163 | 0·00702 |

## TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula III.—[*Kontinuada*]

[n = 1·9 m = 1·10 K = ·0012736]

| *D* | *r* | log *r* | $r^{\frac{10}{19}}$ | log $r^{\frac{10}{19}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·73530 | $\bar{1}$·86646 | ·85060 | $\bar{1}$·92972 |
| ·320 | ·53595 | $\bar{1}$·72912 | ·72017 | $\bar{1}$·85743 |
| ·340 | ·39821 | $\bar{1}$·60011 | ·61593 | $\bar{1}$·78953 |
| ·360 | ·30094 | $\bar{1}$·47848 | ·53152 | $\bar{1}$·72552 |
| ·380 | ·23090 | $\bar{1}$·36342 | ·46233 | $\bar{1}$·66495 |
| ·400 | ·17958 | $\bar{1}$·25426 | ·40505 | $\bar{1}$·60751 |
| ·420 | ·14140 | $\bar{1}$·15045 | ·35716 | $\bar{1}$·55286 |
| ·440 | ·11257 | $\bar{1}$·05142 | ·31678 | $\bar{1}$·50076 |
| ·460 | ·090644 | $\bar{2}$·95734 | ·28264 | $\bar{1}$·45123 |
| ·480 | ·073498 | $\bar{2}$·86627 | ·25311 | $\bar{1}$·40331 |
| ·500 | ·060174 | $\bar{2}$·77941 | ·22781 | $\bar{1}$·35757 |
| ·520 | ·049653 | $\bar{2}$·69594 | ·20590 | $\bar{1}$·31366 |
| ·540 | ·041270 | $\bar{2}$·61563 | ·18680 | $\bar{1}$·27138 |
| ·560 | ·034533 | $\bar{2}$·53820 | ·17008 | $\bar{1}$·23065 |
| ·580 | ·029078 | $\bar{2}$·46356 | ·15537 | $\bar{1}$·19137 |
| ·600 | ·024627 | $\bar{2}$·39141 | ·14236 | $\bar{1}$·15339 |
| ·650 | ·016637 | $\bar{2}$·22107 | ·11581 | $\bar{1}$·06375 |
| ·700 | ·011571 | $\bar{2}$·06337 | ·09566 | $\bar{2}$·98073 |
| ·750 | ·008252 | $\bar{3}$·91656 | ·08007 | $\bar{2}$·90347 |
| ·800 | ·006018 | $\bar{3}$·77923 | ·06779 | $\bar{2}$·83116 |
| ·850 | ·004469 | $\bar{3}$·65021 | ·05798 | $\bar{2}$·76328 |
| ·900 | ·003377 | $\bar{3}$·52853 | ·05003 | $\bar{2}$·69923 |
| ·950 | ·002591 | $\bar{3}$·41347 | ·04351 | $\bar{2}$·63859 |
| 1·000 | ·002015 | $\bar{3}$·30427 | ·03813 | $\bar{2}$·58127 |

**TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.**—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula IV.

**[n = 1·95 m = 1.05 K = ·0017174]**

| *D* | *r* | log *r* | $r^{\frac{100}{195}}$ | log $r^{\frac{100}{195}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | 7577 · 80 | 3 · 87954 | 97 · 613 | 1 · 98950 |
| ·055 | 4727 · 70 | 3 · 67465 | 76 · 636 | 1 · 88443 |
| ·060 | 3073 · 20 | 3 · 48759 | 61 · 448 | 1 · 78850 |
| ·065 | 2067 · 90 | 3 · 31551 | 50 · 150 | 1 · 70027 |
| ·070 | 1432 · 90 | 3 · 15622 | 41 · 550 | 1 · 61857 |
| ·075 | 1018 · 83 | 3 · 00788 | 34 · 874 | 1 · 54250 |
| ·080 | 739 · 86 | 2 · 86915 | 30 · 016 | 1 · 47735 |
| ·085 | 548 · 05 | 2 · 73882 | 25 · 332 | 1 · 40453 |
| ·090 | 412 · 99 | 2 · 61594 | 21 · 954 | 1 · 34151 |
| ·095 | 316 · 02 | 2 · 49971 | 19 · 138 | 1 · 28190 |
| ·100 | 245 · 160 | 2 · 38945 | 16 · 802 | 1 · 22536 |
| ·110 | 152 · 950 | 2 · 18455 | 13 · 191 | 1 · 12028 |
| ·120 | 99 · 425 | 1 · 99749 | 10 · 577 | 1 · 02436 |
| ·130 | 66 · 900 | 1 · 82542 | 8 · 6321 | 0 · 93611 |
| ·140 | 46 · 356 | 1 · 66610 | 7 · 1518 | 0 · 85441 |
| ·150 | 32 · 945 | 1 · 51779 | 6 · 0028 | 0 · 77835 |
| ·160 | 23 · 936 | 1 · 37905 | 5 · 0957 | 0 · 70720 |
| ·170 | 17 · 731 | 1 · 24873 | 4 · 3689 | 0 · 64037 |
| ·180 | 13 · 361 | 1 · 12584 | 3 · 7788 | 0 · 57735 |
| ·190 | 10 · 224 | 1 · 00962 | 3 · 2966 | 0 · 51806 |
| ·200 | 7 · 9314 | 0 · 89935 | 2 · 8920 | 0 · 46119 |
| ·220 | 4 · 9483 | 0 · 69445 | 2 · 2705 | 0 · 35612 |
| ·240 | 3 · 2166 | 0 · 50740 | 1 · 8205 | 0 · 26019 |
| ·260 | 2 · 1644 | 0 · 33534 | 1 · 4858 | 0 · 17196 |
| ·280 | 1 · 5000 | 0 · 17609 | 1 · 2310 | 0 · 09026 |

# TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula IV.—[*Kontinuada*].

[n = 1·95 m = 1·05 K = ·0017174]

| *D* | *r* | log *r* | $r^{\frac{100}{195}}$ | log $r^{\frac{100}{195}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | 1 · 06590 | $\bar{0}$ · 02772 | 1 · 0333 | $\bar{0}$ · 01432 |
| ·320 | · 77438 | $\bar{1}$ · 88895 | · 87711 | $\bar{1}$ · 94305 |
| ·340 | · 57362 | $\bar{1}$ · 75862 | · 75200 | $\bar{1}$ · 87621 |
| ·360 | · 43226 | $\bar{1}$ · 63574 | · 65044 | $\bar{1}$ · 81320 |
| ·380 | · 33076 | $\bar{1}$ · 51951 | · 56702 | $\bar{1}$ · 75359 |
| ·400 | · 25660 | $\bar{1}$ · 40926 | · 49779 | $\bar{1}$ · 69704 |
| ·420 | · 20164 | $\bar{1}$ · 30436 | · 43981 | $\bar{1}$ · 64326 |
| ·440 | · 16009 | $\bar{1}$ · 20436 | · 39082 | $\bar{1}$ · 59197 |
| ·460 | · 12861 | $\bar{1}$ · 10927 | · 34932 | $\bar{1}$ · 54322 |
| ·480 | · 10406 | $\bar{1}$ · 01728 | · 31337 | $\bar{1}$ · 49606 |
| ·500 | · 085024 | $\bar{2}$ · 92954 | · 28252 | $\bar{1}$ · 45105 |
| ·520 | · 070021 | $\bar{2}$ · 84522 | · 25575 | $\bar{1}$ · 40782 |
| ·540 | · 058089 | $\bar{2}$ · 76409 | · 23238 | $\bar{1}$ · 36620 |
| ·560 | · 048519 | $\bar{2}$ · 68591 | · 21189 | $\bar{1}$ · 32611 |
| ·580 | · 040783 | $\bar{2}$ · 61048 | · 19383 | $\bar{1}$ · 28742 |
| ·600 | · 034483 | $\bar{2}$ · 53760 | · 17786 | $\bar{1}$ · 25008 |
| ·650 | · 023202 | $\bar{2}$ · 36552 | · 14512 | $\bar{1}$ · 16173 |
| ·700 | · 016077 | $\bar{2}$ · 20620 | · 12026 | $\bar{1}$ · 08012 |
| ·750 | · 011425 | $\bar{2}$ · 05786 | · 10094 | $\bar{1}$ · 00406 |
| ·800 | · 008301 | $\bar{3}$ · 91913 | · 08568 | $\bar{2}$ · 93288 |
| ·850 | · 006149 | $\bar{3}$ · 78880 | · 07346 | $\bar{2}$ · 86605 |
| ·900 | · 004634 | $\bar{3}$ · 66595 | · 06354 | $\bar{2}$ · 80304 |
| ·950 | · 003546 | $\bar{3}$ · 54974 | · 05542 | $\bar{2}$ · 74366 |
| 1·000 | · 002751 | $\bar{3}$ · 43949 | · 04863 | $\bar{2}$ · 68690 |

## TABLA II.—Rresistenzia de frikzion.—[*Kontinuada*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula V.

[n = 2  m = 1  K = .0023]

| *D* | *r* | log *r* | $r^{\frac{1}{2}}$ | log $r^{\frac{1}{2}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | 11983 · 000 | 4 · 07857 | 109 · 460 | 2 · 03925 |
| ·055 | 7440 · 800 | 3 · 87162 | 86 · 255 | 1 · 93578 |
| ·060 | 4815 · 800 | 3 · 68267 | 69 · 396 | 1 · 84133 |
| ·065 | 3227 · 500 | 3 · 50886 | 56 · 811 | 1 · 75443 |
| ·070 | 2228 · 100 | 3 · 34793 | 47 · 203 | 1 · 67397 |
| ·075 | 1578 · 100 | 3 · 19818 | 39 · 725 | 1 · 59906 |
| ·080 | 1142 · 800 | 3 · 05797 | 33 · 806 | 1 · 52899 |
| ·085 | 848 · 990 | 2 · 92633 | 29 · 051 | 1 · 46316 |
| ·090 | 634 · 190 | 2 · 80222 | 25 · 183 | 1 · 40111 |
| ·095 | 483 · 970 | 2 · 68482 | 21 · 999 | 1 · 34240 |
| ·100 | 374 · 480 | 2 · 57343 | 19 · 352 | 1 · 28673 |
| ·110 | 232 · 520 | 2 · 36646 | 15 · 249 | 1 · 18324 |
| ·120 | 150 · 500 | 2 · 17754 | 12 · 268 | 1 · 08877 |
| ·130 | 100 · 860 | 2 · 00372 | 10 · 043 | 1 · 00186 |
| ·140 | 69 · 629 | 1 · 84279 | 8 · 3444 | 0 · 92139 |
| ·150 | 49 · 314 | 1 · 69297 | 7 · 0224 | 0 · 84648 |
| ·160 | 35 · 713 | 1 · 55282 | 5 · 9761 | 0 · 77641 |
| ·170 | 26 · 375 | 1 · 42119 | 5 · 1356 | 0 · 71059 |
| ·180 | 19 · 818 | 1 · 29706 | 4 · 4518 | 0 · 64853 |
| ·190 | 15 · 124 | 1 · 17967 | 3 · 8889 | 0 · 58982 |
| ·200 | 11 · 702 | 1 · 06826 | 3 · 4209 | 0 · 53414 |
| ·220 | 7 · 266 | 0 · 86129 | 2 · 6956 | 0 · 43066 |
| ·240 | 4 · 703 | 0 · 67237 | 2 · 1686 | 0 · 33618 |
| ·260 | 3 · 152 | 0 · 49859 | 1 · 7753 | 0 · 24927 |
| ·280 | 2 · 176 | 0 · 33766 | 1 · 4751 | 0 · 16882 |

# TABLA II.—Rresistenzia de frikzion—[*Fin*].

$$q^n = \frac{h_p}{Lr} \quad q = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula V.—[*Kontinuada*].

[n = 2 m = 1 K = ·0023]

| *D* | *r* | log *r* | $r^{\frac{1}{2}}$ | $\log r^{\frac{1}{2}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | 1·5410 | 0·18780 | 1·2414 | 0·09391 |
| ·320 | 1·1160 | 0·04766 | 1·0564 | 0·02383 |
| ·340 | ·8242 | $\bar{1}$·91603 | ·90786 | $\bar{1}$·95802 |
| ·360 | ·61932 | $\bar{1}$·79191 | ·78697 | $\bar{1}$·89595 |
| ·380 | ·47262 | $\bar{1}$·67451 | ·68748 | $\bar{1}$·83726 |
| ·400 | ·36571 | $\bar{1}$·56313 | ·60474 | $\bar{1}$·78156 |
| ·420 | ·28654 | $\bar{1}$·45718 | ·53529 | $\bar{1}$·72859 |
| ·440 | ·22708 | $\bar{1}$·35618 | ·47652 | $\bar{1}$·67808 |
| ·460 | ·18203 | $\bar{1}$·26014 | ·42665 | $\bar{1}$·63007 |
| ·480 | ·14697 | $\bar{1}$·16728 | ·38337 | $\bar{1}$·58362 |
| ·500 | ·119840 | $\bar{1}$·07860 | ·34617 | $\bar{1}$·53929 |
| ·520 | ·098495 | $\bar{2}$·99341 | ·31384 | $\bar{1}$·49671 |
| ·540 | ·081557 | $\bar{2}$·91146 | ·28558 | $\bar{1}$·45573 |
| ·560 | ·067997 | $\bar{2}$·83249 | ·26076 | $\bar{1}$·41624 |
| ·580 | ·057055 | $\bar{2}$·75629 | ·23886 | $\bar{1}$·37814 |
| ·600 | ·048158 | $\bar{2}$·68267 | ·21945 | $\bar{1}$·34134 |
| ·650 | ·032275 | $\bar{2}$·50886 | ·17965 | $\bar{1}$·25443 |
| ·700 | ·025000 | $\bar{2}$·39794 | ·14927 | $\bar{1}$·17397 |
| ·750 | ·015780 | $\bar{2}$·19811 | ·12562 | $\bar{1}$·09906 |
| ·800 | ·011428 | $\bar{2}$·05797 | ·10690 | $\bar{1}$·02898 |
| ·850 | ·008440 | $\bar{3}$·92634 | ·09187 | $\bar{2}$·96317 |
| ·900 | ·006342 | $\bar{3}$·80222 | ·07964 | $\bar{2}$·90113 |
| ·950 | ·004840 | $\bar{3}$·68484 | ·06957 | $\bar{2}$·84242 |
| 1·000 | ·003750 | $\bar{3}$·57462 | ·06128 | $\bar{2}$·78730 |

## TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.

$$v^n = \frac{h_p}{L r_s} \qquad v = \left(\frac{j}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula I.

[n = 1·8 m = 1·2 K = ·0007]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r_s^{\frac{10}{18}}$ | $\log r_s^{\frac{10}{18}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | ·025488 | $\bar{2}\cdot40634$ | ·13020 | $\bar{1}\cdot11462$ |
| ·055 | ·022734 | $\bar{2}\cdot35667$ | ·12219 | $\bar{1}\cdot08703$ |
| ·060 | ·020480 | $\bar{2}\cdot31132$ | ·11530 | $\bar{1}\cdot06184$ |
| .065 | ·018604 | $\bar{2}\cdot26961$ | ·10931 | $\bar{1}\cdot03866$ |
| ·070 | ·017021 | $\bar{2}\cdot23098$ | ·10403 | $\bar{1}\cdot01717$ |
| ·075 | ·015668 | $\bar{2}\cdot19502$ | .09936 | 2·99723 |
| ·080 | ·014501 | $\bar{2}\cdot16139$ | ·09518 | $\bar{2}\cdot97854$ |
| ·085 | ·013484 | $\bar{2}\cdot12980$ | ·09141 | $\bar{2}\cdot96099$ |
| ·090 | ·012589 | $\bar{2}\cdot10001$ | ·08799 | $\bar{2}\cdot94444$ |
| ·095 | ·011799 | $\bar{2}\cdot07184$ | ·08488 | $\bar{2}\cdot92879$ |
| ·100 | ·011095 | $\bar{2}\cdot04510$ | ·08202 | $\bar{2}\cdot91394$ |
| ·110 | ·009896 | $\bar{3}\cdot99544$ | ·07697 | $\bar{2}\cdot88634$ |
| ·120 | ·008914 | $\bar{3}\cdot95008$ | ·07263 | $\bar{2}\cdot86115$ |
| ·130 | ·008098 | $\bar{3}\cdot90837$ | ·06886 | $\bar{2}\cdot83798$ |
| ·140 | ·007409 | $\bar{3}\cdot86975$ | ·06554 | $\bar{2}\cdot81652$ |
| ·150 | ·006820 | $\bar{3}\cdot83379$ | ·06260 | $\bar{2}\cdot79654$ |
| ·160 | ·006312 | $\bar{3}\cdot80015$ | ·05996 | $\bar{2}\cdot77786$ |
| ·170 | ·005869 | $\bar{3}.76856$ | ·05758 | $\bar{2}\cdot76030$ |
| ·180 | ·005480 | $\bar{3}\cdot73878$ | ·05543 | $\bar{2}\cdot74376$ |
| ·190 | ·005136 | $\bar{3}\cdot71061$ | ·05347 | $\bar{2}\cdot72810$ |
| ·200 | ·004823 | $\bar{3}\cdot68387$ | ·05167 | $\bar{2}\cdot71325$ |
| ·220 | ·004307 | $\bar{3}\cdot63420$ | ·04849 | $\bar{2}\cdot68566$ |
| ·240 | ·003880 | $\bar{3}\cdot58888$ | ·04576 | $\bar{2}\cdot66046$ |
| ·260 | ·003525 | $\bar{3}\cdot54714$ | ·04338 | $\bar{2}\cdot63729$ |
| ·280 | ·003225 | $\bar{3}\cdot50851$ | ·04129 | $\bar{2}\cdot61583$ |

# TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$v^n = \frac{h_p}{L r_s} \qquad v = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula I.—[*Kontinuado*].

[n = 1·8  m = 1·2  K = ·0007]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r^{\frac{10}{18}}$ | $\log r_s^{\frac{10}{18}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·002967 | $\bar{3}$·47256 | ·03943 | $\bar{2}$·59586 |
| ·320 | ·002747 | $\bar{3}$·43892 | ·03777 | $\bar{2}$·57717 |
| ·340 | ·002555 | $\bar{3}$·40733 | ·03628 | $\bar{2}$·55962 |
| .360 | ·002385 | $\bar{3}$·37754 | ·03492 | $\bar{2}$·54307 |
| ·380 | ·002235 | $\bar{3}$·34937 | ·03368 | $\bar{2}$·52742 |
| ·400 | ·002102 | $\bar{3}$·32263 | ·03255 | $\bar{2}$·51256 |
| ·420 | ·001982 | $\bar{3}$·29720 | ·03151 | $\bar{2}$·49847 |
| ·440 | ·001875 | $\bar{3}$·27296 | ·03055 | $\bar{2}$·48497 |
| ·460 | ·001778 | $\bar{3}$.24991 | ·02966 | $\bar{2}$·47216 |
| ·480 | ·001689 | $\bar{3}$·22762 | ·02883 | $\bar{2}$·45978 |
| ·500 | ·001608 | $\bar{3}$·20634 | ·02805 | $\bar{2}$·44796 |
| ·520 | ·001534 | $\bar{3}$·18590 | ·02731 | $\bar{2}$·43627 |
| ·540 | ·001466 | $\bar{3}$·16623 | ·02665 | $\bar{2}$·42568 |
| ·560 | ·001404 | $\bar{3}$·14728 | ·02601 | $\bar{2}$·41514 |
| ·580 | ·001346 | $\bar{3}$·12898 | ·02541 | $\bar{2}$·40498 |
| ·600 | ·001292 | $\bar{3}$·11132 | ·02484 | $\bar{2}$·39517 |
| ·650 | ·001174 | $\bar{3}$·06961 | ·02356 | $\bar{2}$·37200 |
| ·700 | ·001074 | $\bar{3}$·03098 | ·02242 | $\bar{2}$·35057 |
| ·750 | ·0009886 | $\bar{4}$·99503 | ·02141 | $\bar{2}$·33056 |
| ·800 | ·0009149 | $\bar{4}$·96140 | ·02051 | $\bar{2}$·31188 |
| ·850 | ·0008507 | $\bar{4}$·92980 | ·01970 | $\bar{2}$·29432 |
| ·900 | ·0007943 | $\bar{4}$·90001 | ·01896 | $\bar{2}$·27778 |
| ·950 | ·0007444 | $\bar{4}$·87184 | ·01829 | $\bar{2}$·26212 |
| 1·000 | ·0007000 | $\bar{4}$·84510 | ·01767 | $\bar{2}$·24727 |

## TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$v^n = \frac{h_p}{Lr_s} \quad v = \left(\frac{j}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula II.

[n = 1·85 m = 1·15 K = ·000944]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r_s^{\frac{100}{185}}$ | $\log r_s^{\frac{100}{185}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | ·029593 | $\bar{2}$·47118 | ·14914 | $\bar{1}$·17360 |
| ·055 | ·026521 | $\bar{2}$·42359 | ·14056 | $\bar{1}$·14787 |
| ·060 | ·023996 | $\bar{2}$·38018 | ·13316 | $\bar{1}$·12438 |
| ·065 | ·021886 | $\bar{2}$·34016 | ·12670 | $\bar{1}$·10277 |
| ·070 | ·020098 | $\bar{2}$·30314 | ·12100 | $\bar{1}$·08276 |
| ·075 | ·018564 | $\bar{2}$·26868 | ·11592 | $\bar{1}$·06414 |
| ·080 | ·017237 | $\bar{2}$·23645 | ·11186 | $\bar{1}$·04672 |
| ·085 | ·016076 | $\bar{2}$·20617 | ·10724 | $\bar{1}$·03035 |
| ·090 | ·015053 | $\bar{2}$·17763 | ·10350 | $\bar{1}$·01492 |
| ·095 | ·014146 | $\bar{2}$·15062 | ·10007 | $\bar{1}$·00032 |
| ·100 | ·013336 | $\bar{2}$·12500 | ·09687 | $\bar{2}$·98620 |
| ·110 | ·011951 | $\bar{2}$·07740 | ·09136 | $\bar{2}$·96074 |
| ·120 | ·010813 | $\bar{2}$·03394 | ·08656 | $\bar{2}$·93725 |
| ·130 | ·009862 | $\bar{3}$·99397 | ·08235 | $\bar{2}$·91565 |
| ·140 | ·009056 | $\bar{3}$·95695 | ·07864 | $\bar{2}$·89564 |
| ·150 | ·008336 | $\bar{3}$·92250 | ·07534 | $\bar{2}$·87701 |
| ·160 | ·007767 | $\bar{3}$·89026 | ·07238 | $\bar{2}$·85959 |
| ·170 | ·007242 | $\bar{3}$·85983 | ·06970 | $\bar{2}$·84322 |
| ·180 | ·006783 | $\bar{3}$·83144 | ·06727 | $\bar{2}$·82780 |
| ·190 | ·006374 | $\bar{3}$·80444 | ·06504 | $\bar{2}$·81320 |
| ·200 | ·006009 | $\bar{3}$·77882 | ·06300 | $\bar{2}$·79935 |
| ·220 | ·005385 | $\bar{3}$·73122 | ·05938 | $\bar{2}$·77362 |
| ·240 | ·004872 | $\bar{3}$·68776 | ·05625 | $\bar{2}$·75018 |
| ·260 | ·004444 | $\bar{3}$·64778 | ·05352 | $\bar{2}$·72852 |
| ·280 | ·004081 | $\bar{3}$·61077 | ·05111 | $\bar{2}$·70851 |

## TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$v^n = \frac{h_p}{Lr_s} \quad v = \left(\frac{j}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula II.—[*Kontinuada*].

[n = 1·85 m = 1·15 K = ·000944]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r_s^{\frac{100}{185}}$ | $\log r_s^{\frac{100}{185}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·003770 | $\bar{3}\cdot57631$ | ·04897 | $\bar{2}\cdot68988$ |
| ·320 | ·003500 | $\bar{3}\cdot54408$ | ·04704 | $\bar{2}\cdot67246$ |
| ·340 | ·003264 | $\bar{3}\cdot51380$ | ·04530 | $\bar{2}\cdot65610$ |
| ·360 | ·003057 | $\bar{3}\cdot48526$ | ·04372 | $\bar{2}\cdot64067$ |
| ·380 | ·002872 | $\bar{3}\cdot45825$ | ·04227 | $\bar{2}\cdot62607$ |
| ·400 | ·002708 | $\bar{3}\cdot43263$ | ·04095 | $\bar{2}\cdot61222$ |
| ·420 | ·002560 | $\bar{3}\cdot40826$ | ·03972 | $\bar{2}\cdot59905$ |
| ·440 | ·002427 | $\bar{3}\cdot38503$ | ·03859 | $\bar{2}\cdot58649$ |
| ·460 | ·002306 | $\bar{3}\cdot36294$ | ·03755 | $\bar{2}\cdot57455$ |
| ·480 | ·002196 | $\bar{3}\cdot34157$ | ·03656 | $\bar{2}\cdot56300$ |
| ·500 | ·002095 | $\bar{3}\cdot32119$ | ·03564 | $\bar{2}\cdot55198$ |
| ·520 | ·002003 | $\bar{3}\cdot30160$ | ·03479 | $\bar{2}\cdot54139$ |
| ·540 | ·001918 | $\bar{3}\cdot28275$ | ·03398 | $\bar{2}\cdot53120$ |
| ·560 | ·001839 | $\bar{3}\cdot26458$ | ·03322 | $\bar{2}\cdot52138$ |
| ·580 | ·001766 | $\bar{3}\cdot24706$ | ·03250 | $\bar{2}\cdot51191$ |
| ·600 | ·001699 | $\bar{3}\cdot23013$ | ·03182 | $\bar{2}\cdot50276$ |
| ·650 | ·001549 | $\bar{3}\cdot19015$ | ·03028 | $\bar{2}\cdot48115$ |
| ·700 | ·001428 | $\bar{3}\cdot15314$ | ·02892 | $\bar{2}\cdot46114$ |
| ·750 | ·001314 | $\bar{3}\cdot11868$ | ·02771 | $\bar{2}\cdot44247$ |
| ·800 | ·001220 | $\bar{3}\cdot08645$ | ·02663 | $\bar{2}\cdot42536$ |
| ·850 | ·001138 | $\bar{3}\cdot05617$ | ·02564 | $\bar{2}\cdot40873$ |
| ·900 | ·001066 | $\bar{3}\cdot02763$ | ·02473 | $\bar{2}\cdot39330$ |
| ·950 | ·001001 | $\bar{3}\cdot00062$ | ·02392 | $\bar{2}\cdot37870$ |
| 1·000 | ·000944 | $\bar{4}\cdot97500$ | ·02317 | $\bar{2}\cdot36486$ |

## TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$v^n = \frac{h_p}{Lr_s} \qquad v = \left(\frac{j}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

### Fórmula III.

**[n = 1·9  m = 1·10  K = ·0012736]**

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r_s^{\frac{10}{19}}$ | $\log r_s^{\frac{10}{19}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | ·034367 | $\bar{2}$·53614 | ·16965 | $\bar{1}$·22956 |
| ·055 | ·030947 | $\bar{2}$·49061 | ·16055 | $\bar{1}$·20560 |
| ·060 | ·028122 | $\bar{2}$·44904 | ·15266 | $\bar{1}$·18372 |
| .065 | ·025752 | $\bar{2}$·41080 | ·14575 | $\bar{1}$·16360 |
| ·070 | ·023734 | $\bar{2}$·37539 | ·13963 | $\bar{1}$·14496 |
| ·075 | ·022000 | $\bar{2}$·34243 | ·13419 | $\bar{1}$·12761 |
| ·080 | ·020493 | $\bar{2}$·31160 | ·12924 | $\bar{1}$·11139 |
| ·085 | ·019171 | $\bar{2}$·28264 | ·12477 | $\bar{1}$·09614 |
| ·090 | ·018002 | $\bar{2}$·25534 | ·12072 | $\bar{1}$·08177 |
| ·095 | ·016964 | $\bar{2}$·22951 | ·11700 | $\bar{1}$·06818 |
| ·100 | ·016033 | $\bar{2}$·20500 | ·11358 | $\bar{1}$·05528 |
| ·110 | ·014437 | $\bar{2}$·15947 | ·10748 | $\bar{1}$·03132 |
| ·120 | ·013120 | $\bar{2}$·11791 | ·10220 | $\bar{1}$·00944 |
| ·130 | ·012013 | $\bar{2}$·07967 | ·09757 | $\bar{2}$·98931 |
| ·140 | ·011073 | $\bar{2}$·04426 | ·09347 | $\bar{2}$·97068 |
| ·150 | ·010264 | $\bar{2}$·01130 | ·08981 | $\bar{2}$·95334 |
| ·160 | ·009560 | $\bar{3}$·98047 | ·08652 | $\bar{2}$·93710 |
| ·170 | ·008943 | $\bar{3}$·95150 | ·08358 | $\bar{2}$·92186 |
| ·180 | ·008398 | $\bar{3}$·92420 | ·08082 | $\bar{2}$·90749 |
| ·190 | ·007914 | $\bar{3}$·89838 | ·07832 | $\bar{2}$·89385 |
| ·200 | ·007479 | $\bar{3}$·87387 | ·07604 | $\bar{2}$·88100 |
| ·220 | ·006735 | $\bar{3}$·82834 | ·07195 | $\bar{2}$·85704 |
| ·240 | ·006120 | $\bar{3}$·78677 | ·06841 | $\bar{2}$·83516 |
| ·260 | ·005605 | $\bar{3}$·74854 | ·06532 | $\bar{2}$·81503 |
| ·280 | ·005166 | $\bar{3}$·71313 | ·06258 | $\bar{2}$·79640 |

# TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$v^n = \frac{h_p}{Lr_s} \quad v = \left(\frac{j}{r}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula III.—[*Kontinuado*].

[n = 1·9 m = 1·10 K = ·0012736]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r^{\frac{10}{19}}$ | $\log r_s^{\frac{10}{19}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·004788 | $\bar{3}$·68017 | ·06012 | $\bar{2}$·77905 |
| ·320 | ·004460 | $\bar{3}$·64934 | ·05792 | $\bar{2}$·76282 |
| ·340 | ·004172 | $\bar{3}$·62038 | ·05592 | $\bar{2}$·74758 |
| .360 | ·003918 | $\bar{3}$·59307 | ·05410 | $\bar{2}$·73321 |
| ·380 | ·003692 | $\bar{3}$·56725 | ·05244 | $\bar{2}$·71962 |
| ·400 | ·003489 | $\bar{3}$·54274 | ·05090 | $\bar{2}$·70672 |
| ·420 | ·003307 | $\bar{3}$·51943 | ·04948 | $\bar{2}$·69445 |
| ·440 | ·003142 | $\bar{3}$·49721 | ·04817 | $\bar{2}$·68276 |
| ·460 | ·002993 | $\bar{3}$·47608 | ·04695 | $\bar{2}$·67169 |
| ·480 | ·002855 | $\bar{3}$·45564 | ·04580 | $\bar{2}$·66088 |
| ·500 | ·002730 | $\bar{3}$·43614 | ·04473 | $\bar{2}$·65061 |
| ·520 | ·002615 | $\bar{3}$·41740 | ·04373 | $\bar{2}$·64075 |
| ·540 | ·002508 | $\bar{3}$·39937 | ·04278 | $\bar{2}$·63127 |
| ·560 | ·002410 | $\bar{3}$·38200 | ·04189 | $\bar{2}$·62212 |
| ·580 | ·002319 | $\bar{3}$·36523 | ·04105 | $\bar{2}$·61329 |
| .600 | ·002234 | $\bar{3}$·34904 | ·04025 | $\bar{2}$·60477 |
| ·650 | ·002045 | $\bar{3}$·31080 | ·03843 | $\bar{2}$·58465 |
| ·700 | ·001885 | $\bar{3}$·27539 | ·03682 | $\bar{2}$·56601 |
| ·750 | ·001748 | $\bar{3}$·24244 | ·03537 | $\bar{2}$·54867 |
| ·800 | ·001628 | $\bar{3}$·21160 | ·03408 | $\bar{2}$·53244 |
| ·850 | ·001523 | $\bar{3}$·18264 | ·03290 | $\bar{2}$·51719 |
| ·900 | ·001430 | $\bar{3}$·15534 | ·03183 | $\bar{2}$·50282 |
| ·950 | ·001347 | $\bar{3}$·12951 | ·03085 | $\bar{2}$·48923 |
| 1·000 | ·001274 | $\bar{3}$·10500 | ·02995 | $\bar{2}$·47633 |

# TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$r^n = \frac{h_p}{L r_s} \qquad r = \left(\frac{j}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula IV.

[n = 1·95  m = 1·05  K = ·0017174]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r_s^{\frac{100}{195}}$ | $\log r_s^{\frac{100}{195}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·050 | ·039882 | $\bar{2}$ · 60078 | ·19166 | $\bar{1}$ · 28254 |
| ·055 | ·036090 | $\bar{2}$ · 55732 | ·18208 | $\bar{1}$ · 26025 |
| ·060 | ·032930 | $\bar{2}$ · 51764 | ·17374 | $\bar{1}$ · 23990 |
| ·065 | ·030280 | $\bar{2}$ · 48115 | ·16641 | $\bar{1}$ · 22118 |
| ·070 | ·028010 | $\bar{2}$ · 44735 | ·15990 | $\bar{1}$ · 20385 |
| ·075 | ·026060 | $\bar{2}$ · 41589 | ·15410 | $\bar{1}$ · 18772 |
| ·080 | ·024350 | $\bar{2}$ · 38646 | ·14880 | $\bar{1}$ · 17262 |
| ·085 | ·022850 | $\bar{2}$ · 35881 | ·14403 | $\bar{1}$ · 15845 |
| ·090 | ·021520 | $\bar{2}$ · 33275 | ·13966 | $\bar{1}$ · 14508 |
| ·095 | ·020330 | $\bar{2}$ · 30810 | ·13566 | $\bar{1}$ · 13244 |
| ·100 | ·019260 | $\bar{2}$ · 28470 | ·13195 | $\bar{1}$ · 12040 |
| ·110 | ·017430 | $\bar{2}$ · 24124 | ·12536 | $\bar{1}$ · 09816 |
| ·120 | ·015910 | $\bar{2}$ · 20156 | ·11962 | $\bar{1}$ · 07781 |
| ·130 | ·014630 | $\bar{2}$ · 16506 | ·11457 | $\bar{1}$ · 05909 |
| ·140 | ·013530 | $\bar{2}$ · 13126 | ·11010 | $\bar{1}$ · 04176 |
| ·150 | ·012580 | $\bar{2}$ · 09981 | ·10608 | $\bar{1}$ · 02562 |
| ·160 | ·011760 | $\bar{2}$ · 07037 | ·10245 | $\bar{1}$ · 01053 |
| ·170 | ·011030 | $\bar{2}$ · 04273 | ·09916 | $\bar{2}$ · 99635 |
| ·180 | ·010390 | $\bar{2}$ · 01667 | ·09616 | $\bar{2}$ · 98299 |
| ·190 | ·009818 | $\bar{3}$ · 99202 | ·09340 | $\bar{2}$ · 97035 |
| ·200 | ·009303 | $\bar{3}$ · 96862 | ·09086 | $\bar{2}$ · 95835 |
| ·220 | ·008417 | $\bar{3}$ · 92516 | ·08630 | $\bar{2}$ · 93607 |
| ·240 | ·007682 | $\bar{3}$ · 88548 | ·08236 | $\bar{2}$ · 91571 |
| ·260 | ·007063 | $\bar{3}$ · 84898 | ·07889 | $\bar{2}$ · 89700 |
| ·280 | ·006534 | $\bar{3}$ · 81518 | ·07580 | $\bar{2}$ · 87966 |

# TABLA III.—Rresistenzia de frikzion rreferida a la belozidad.—[*Kontinuada*].

$$v^n = \frac{h_p}{L r_s} \quad v = \left(\frac{j}{r_s}\right)^{\frac{1}{n}}$$

(Orijinal)

## Fórmula IV.—[*Kontinuada*].

[n = 1·95 m = 1·05 K = ·0017174]

| $D$ | $r_s$ | $\log r_s$ | $r_s^{\frac{100}{195}}$ | $\log r_s^{\frac{100}{195}}$ |
|---|---|---|---|---|
| m | Por unidad de lonjitud | | Por unidad de $\sqrt[n]{\text{lonjitud}}$ | |
| ·300 | ·006078 | $\bar{3}$·78373 | ·07304 | $\bar{2}$·86353 |
| ·320 | ·005679 | $\bar{3}$·75429 | ·07054 | $\bar{2}$·84844 |
| ·340 | ·005329 | $\bar{3}$·72665 | ·06827 | $\bar{2}$·83426 |
| ·360 | ·005019 | $\bar{3}$·70059 | ·06621 | $\bar{2}$·82090 |
| ·380 | ·004742 | $\bar{3}$·67593 | ·06431 | $\bar{2}$·80826 |
| ·400 | ·004493 | $\bar{3}$·65254 | ·06255 | $\bar{2}$·79626 |
| ·420 | ·004269 | $\bar{3}$·63029 | ·06093 | $\bar{2}$·78485 |
| ·440 | ·004065 | $\bar{3}$·60908 | ·05942 | $\bar{2}$·77397 |
| ·460 | ·003881 | $\bar{3}$·58891 | ·05803 | $\bar{2}$·76362 |
| ·480 | ·003710 | $\bar{3}$·56940 | ·05671 | $\bar{2}$·75362 |
| ·500 | ·003554 | $\bar{3}$·55078 | ·05547 | $\bar{2}$·74408 |
| ·520 | ·003411 | $\bar{3}$·53290 | ·05431 | $\bar{2}$·73490 |
| ·540 | ·003279 | $\bar{3}$·51570 | ·05322 | $\bar{2}$·72608 |
| ·560 | ·003156 | $\bar{3}$·49910 | ·05219 | $\bar{2}$·71757 |
| ·580 | ·003042 | $\bar{3}$·48310 | ·05121 | $\bar{2}$·70937 |
| ·600 | ·002935 | $\bar{3}$·46764 | ·05028 | $\bar{2}$·70144 |
| ·650 | ·002699 | $\bar{3}$·43115 | ·04816 | $\bar{2}$·68272 |
| ·700 | ·002497 | $\bar{3}$·39735 | ·04628 | $\bar{2}$·66538 |
| ·750 | ·002322 | $\bar{3}$·36589 | ·04459 | $\bar{2}$·64926 |
| ·800 | ·002170 | $\bar{3}$·33646 | ·04307 | $\bar{2}$·63416 |
| ·850 | ·002036 | $\bar{3}$·30881 | ·04169 | $\bar{2}$·61999 |
| ·900 | ·001917 | $\bar{3}$·28275 | ·04042 | $\bar{2}$·60662 |
| ·950 | ·001812 | $\bar{3}$·25809 | ·03926 | $\bar{2}$·59398 |
| 1·000 | ·001717 | $\bar{3}$·23470 | ·03819 | $\bar{2}$·58198 |

## TABLA IV.—Gasto en M³ por segundo ekibalente a la belozidad de 1 metro por segundo, para diferentes diámetros.

| *D* | M³ por segundo | *D* | M³ por segundo | *D* | M³ por segundo |
|---|---|---|---|---|---|
| m | | m | | m | |
| ·050 | ·001968 | ·300 | ·070686 | ·600 | ·28274 |
| ·055 | ·002376 | ·310 | ·075477 | ·610 | ·29225 |
| ·060 | ·002827 | ·320 | ·080425 | ·620 | ·30191 |
| ·065 | ·003218 | ·330 | ·085530 | ·630 | ·31172 |
| ·070 | ·003848 | ·340 | ·090792 | ·640 | ·32170 |
| ·075 | ·004418 | ·350 | ·096211 | ·650 | ·33183 |
| ·080 | ·005026 | ·360 | ·101790 | ·660 | ·34212 |
| ·085 | .005674 | ·370 | ·107510 | ·670 | ·35257 |
| ·090 | ·006362 | ·380 | ·113410 | ·680 | ·36317 |
| ·095 | ·007088 | ·390 | ·119450 | ·690 | ·37393 |
| ·100 | ·007854 | ·400 | ·125660 | ·700 | ·38485 |
| ·110 | ·009503 | ·410 | ·132030 | ·710 | ·39592 |
| ·120 | ·011310 | ·420 | ·138540 | ·720 | ·40715 |
| ·130 | ·013273 | ·430 | ·145220 | ·730 | ·41854 |
| ·140 | ·015394 | ·440 | ·152050 | ·740 | ·43008 |
| ·150 | ·017671 | ·450 | ·159040 | ·750 | ·44179 |
| ·160 | ·020106 | ·460 | ·166190 | ·760 | ·45365 |
| ·170 | ·022698 | ·470 | ·173490 | ·770 | ·46566 |
| ·180 | ·025447 | ·480 | ·180960 | ·780 | ·47784 |
| ·190 | ·028364 | ·490 | ·188570 | ·790 | ·49017 |
| ·200 | ·031416 | ·500 | ·196350 | ·800 | ·50265 |
| ·210 | ·034636 | ·510 | ·204280 | ·850 | ·56745 |
| ·220 | ·038013 | ·520 | ·212370 | ·900 | ·63617 |
| ·230 | ·041548 | ·530 | ·220620 | ·950 | ·70882 |
| ·240 | ·045239 | ·540 | ·229020 | 1·000 | ·78540 |
| ·250 | ·049087 | ·550 | ·237580 | 1·100 | ·95033 |
| ·260 | ·053093 | ·560 | ·246300 | 1·200 | 1·131 |
| ·270 | ·057256 | ·570 | ·255180 | 1·300 | 1·327 |
| ·280 | ·061575 | ·580 | ·264210 | 1·400 | 1·539 |
| ·290 | ·066022 | ·590 | ·273400 | 1·500 | 1·761 |

NOTA.—Estos balores espresan tambien las sekziones korrespondientes a *D*, en metros kuadrados.

## TABLA V.—Balores de la kaída teórika en funzion de la belozidad.

$$\left(h = \frac{v^2}{2g},\ \text{kon } g = 9^m.80\right)$$

| v | h | v | h | v | h | v | h | v | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ·10 | ·000 | 1·40 | ·100 | 2·70 | ·372 | 4·00 | ·816 | 9·00 | 4·133 |
| ·15 | ·001 | 1·45 | ·107 | 2·75 | ·386 | 4·10 | ·858 | 9·50 | 4·604 |
| ·20 | ·002 | 1·50 | ·115 | 2·80 | ·400 | 4·20 | ·900 | 10·00 | 5·102 |
| ·25 | ·003 | 1·55 | ·122 | 2·85 | ·414 | 4·30 | ·943 | 10·50 | 5·625 |
| ·30 | ·005 | 1·60 | ·130 | 2·90 | ·429 | 4·40 | ·988 | 11·00 | 6·173 |
| ·35 | ·006 | 1·65 | ·139 | 2·95 | ·444 | 4·50 | 1·033 | 11·50 | 6·747 |
| ·40 | ·008 | 1·70 | ·147 | 3·00 | ·459 | 4·60 | 1·079 | 12·00 | 7·347 |
| ·45 | ·010 | 1·75 | ·156 | 3·05 | ·475 | 4·70 | 1·127 | 12·50 | 7·972 |
| ·50 | ·013 | 1·80 | ·165 | 3·10 | ·490 | 4·80 | 1·175 | 13·00 | 8·623 |
| ·55 | ·015 | 1·85 | ·174 | 3·15 | ·506 | 4·90 | 1·225 | 13·50 | 9·299 |
| ·60 | ·018 | 1·90 | ·184 | 3·20 | ·522 | 5·00 | 1·275 | 14·00 | 10·00 |
| ·65 | ·022 | 1·95 | ·194 | 3·25 | ·539 | 5·10 | 1·327 | 14·50 | 10·73 |
| ·70 | ·025 | 2·00 | ·204 | 3·30 | ·555 | 5·20 | 1·379 | 15·00 | 11·48 |
| ·75 | ·029 | 2·05 | ·214 | 3·35 | ·573 | 5·30 | 1·436 | 15·50 | 12·26 |
| ·80 | ·033 | 2·10 | ·225 | 3·40 | ·590 | 5·40 | 1·487 | 16·00 | 13·06 |
| ·85 | ·037 | 2·15 | ·236 | 3·45 | ·607 | 5·50 | 1·543 | 16·50 | 13·89 |
| ·90 | ·041 | 2·20 | ·247 | 3·50 | ·625 | 5·60 | 1·600 | 17·00 | 14·74 |
| ·95 | ·046 | 2·25 | ·258 | 3·55 | ·643 | 5·70 | 1·657 | 17·50 | 15·27 |
| 1·00 | ·051 | 2·30 | ·270 | 3·60 | ·662 | 5·80 | 1·686 | 18·00 | 16·53 |
| 1·05 | ·056 | 2·35 | ·281 | 3·65 | ·680 | 5·90 | 1·775 | 18·50 | 17·46 |
| 1·10 | ·062 | 2·40 | ·294 | 3·70 | ·699 | 6·00 | 1·836 | 19·00 | 18·42 |
| 1·15 | ·067 | 2·45 | ·306 | 3·75 | ·717 | 6·50 | 2·155 | 19·50 | 19·40 |
| 1·20 | ·073 | 2·50 | ·319 | 3·80 | ·737 | 7·00 | 2.500 | 20·00 | 20·40 |
| 1·25 | ·080 | 2·55 | ·332 | 3·85 | ·756 | 7·50 | 2·870 | 20·50 | 21·44 |
| 1·30 | ·086 | 2·60 | ·345 | 3·90 | ·776 | 8·00 | 3·265 | 21·00 | 22·50 |
| 1·35 | ·093 | 2·65 | ·358 | 3·95 | ·796 | 8·50 | 3·687 | 22·00 | 24.70 |

## TABLA VI.—Balores de la belozidad teórika korrespondiente a la kaída.

$(v = \sqrt{2gh}$, kon $g = 9^m.80)$

| *h* | *v* | *h* | *v* | *h* | *v* | *h* | *v* | *h* | *v* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *·10* | 1·400 | *5·25* | 10·14 | *11·75* | 15·17 | *18·25* | 18·91 | *24·75* | 22·03 |
| *·20* | 1·980 | *·50* | 10·38 | *12·00* | 15·33 | *·50* | 19·04 | *25·00* | 22·14 |
| *·30* | 2·425 | *·75* | 10·61 | *·25* | 15·50 | *·75* | 19·17 | *·25* | 22·25 |
| *·40* | 2·800 | *6·00* | 10·84 | *·50* | 15·65 | *19·00* | 19·30 | *·50* | 22·36 |
| *·50* | 3·131 | *·25* | 11·06 | *·75* | 15·81 | *·25* | 19·42 | *·75* | 22·46 |
| *·60* | 3·430 | *·50* | 11·28 | *13·00* | 15·96 | *·50* | 19·55 | *26·00* | 22·57 |
| *·70* | 3·705 | *·75* | 11·50 | *·25* | 16·11 | *.75* | 19·68 | *·25* | 22·68 |
| *·80* | 3·960 | *7·00* | 11·71 | *·50* | 16·26 | *20·00* | 19·80 | *·50* | 22·79 |
| *·90* | 4·201 | *·25* | 11·92 | *·75* | 16·41 | *·25* | 19·92 | *·75* | 22·89 |
| *1·00* | 4·427 | *·50* | 12·12 | *14·00* | 16·56 | *·50* | 20·05 | *27·00* | 23·01 |
| *·25* | 4·952 | *·75* | 12·32 | *·25* | 16·71 | *·75* | 20·16 | *·25* | 23·11 |
| *·50* | 5·244 | *8·00* | 12·52 | *·50* | 16·86 | *21·00* | 20·28 | *·50* | 23·22 |
| *.75* | 5·858 | *·25* | 12·71 | *·75* | 17·01 | *·25* | 20·41 | *·75* | 23·32 |
| *2·00* | 6·263 | *·50* | 12·90 | *15.00* | 17·14 | *·50* | 20·53 | *28·00* | 23·43 |
| *·25* | 6·643 | *·75* | 13·09 | *·25* | 17·28 | *·75* | 20·65 | *·25* | 23·53 |
| *·50* | 7·002 | *9·00* | 13·28 | *·50* | 17·43 | *22·00* | 20·77 | *·50* | 23·64 |
| *·75* | 7·344 | *·25* | 13·46 | *·75* | 17·57 | *·25* | 20·88 | *·75* | 23·74 |
| *3·00* | 7·671 | *·50* | 13·64 | *16·00* | 17·71 | *·50* | 21·00 | *29·00* | 23·84 |
| *·25* | 7·984 | *·75* | 13·82 | *·25* | 17·85 | *·75* | 21·12 | *·25* | 23·94 |
| *·50* | 8·285 | *10·00* | 14·00 | *·50* | 17·98 | *23·00* | 21·23 | *·50* | 24·05 |
| *·75* | 8·576 | *·25* | 14·17 | *·75* | 18·12 | *·25* | 21·35 | *·75* | 24·15 |
| *4·00* | 8·857 | *·50* | 14·34 | *17·00* | 18·25 | *·50* | 21·46 | *30.00* | 24.25 |
| *·25* | 9·130 | *·75* | 14·52 | *·25* | 18·38 | *·75* | 21·58 | *·25* | 24·45 |
| *·50* | 9·395 | *11·00* | 14·68 | *·50* | 18·52 | *24·00* | 21·69 | *.50* | 24·65 |
| *·75* | 9·652 | *·25* | 14·84 | *·75* | 18·65 | *·25* | 21·81 | *·75* | 24·85 |
| *5·00* | 9·900 | *·50* | 15·01 | *18·00* | 18·78 | *·50* | 21·91 | *31·00* | 25·05 |

## TABLA VII.—Densidad del agua a diferentes temperaturas.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0·99988 | 25° | 0·99714 | 50° | 0·98819 | 75° | 0·97497 |
| 1 | 94 | 26 | ·99687 | 51 | 772 | 76 | 437 |
| 2 | 98 | 27 | 61 | 52 | 725 | 77 | 376 |
| 3 | 1·00000 | 28 | 34 | 53 | 677 | 78 | 315 |
| 4 | 01 | 29 | 06 | 54 | 629 | 79 | 254 |
| 5° | 1·00000 | 30° | 0·99578 | 55° | 0·98582 | 80° | 0·97193 |
| 6 | 0·99998 | 31 | 548 | 56 | 534 | 81 | 131 |
| 7 | 94 | 32 | 518 | 57 | 486 | 82 | 069 |
| 8 | 89 | 33 | 486 | 58 | 437 | 83 | 006 |
| 9 | 83 | 34 | 453 | 59 | 388 | 84 | ·96942 |
| 10° | 0·99975 | 35° | 0·99419 | 60° | 0·98338 | 85° | 0·96878 |
| 11 | 66 | 36 | 384 | 61 | 286 | 86 | 814 |
| 12 | 56 | 37 | 348 | 62 | 234 | 87 | 750 |
| 13 | 44 | 38 | 311 | 63 | 181 | 88 | 686 |
| 14 | 31 | 39 | 274 | 64 | 127 | 89 | 621 |
| 15° | 0·99916 | 40° | 0·99236 | 65° | 0·98073 | 90° | 0·96554 |
| 16 | 01 | 41 | 198 | 66 | 018 | 91 | 488 |
| 17 | ·99885 | 42 | 158 | 67 | ·97963 | 92 | 421 |
| 18 | 67 | 43 | 118 | 68 | 907 | 93 | 354 |
| 19 | 48 | 44 | 078 | 69 | 850 | 94 | 286 |
| 20° | 0·99828 | 45° | 0·99037 | 70° | 0·97793 | 95° | 0·96216 |
| 21 | 07 | 46 | ·98996 | 71 | 735 | 96 | 146 |
| 22 | ·99785 | 47 | 954 | 72 | 676 | 97 | 076 |
| 23 | 62 | 48 | 910 | 73 | 617 | 98 | 005 |
| 24 | 39 | 49 | 865 | 74 | 557 | 99 | ·95934 |
| 25° | 0·99714 | 50° | 0·98819 | 75° | 0·97497 | 100° | 0·95863 |

## TABLA VIII.—Kaños de fierro fundido.

| Diámetro interno | Presion en atmósferas 10 Espesor | 10 Peso por 1 m. | 15 Espesor | 15 Peso por 1 m. | 20 Espesor | 20 Peso por 1 m. | 25 Espesor | 25 Peso por 1 m. | 35 Espesor | 35 Peso por 1 m. | 40 Espesor | 40 Peso por 1 m. | Plomo Por juntura | Filástika Por juntura |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | mm. | Kg. | mm. | Kg. | mm. | Kg. | mm. | Ks. | mm. | Ks. | mm. | Ks. | Ks. | Ks. |
| **100** | 10 | 26 | 10 5 | 27·3 | 11 | 28·6 | 12 | 31·2 | 12·5 | 32·5 | 14 | 36·5 | 1·60 | 0·22 |
| **110** | 10 | 29 | 10·5 | 30·5 | 11 | 32 | 12 | 35 | 12·5 | 36·3 | 14·5 | 42 | 1·77 | 0·24 |
| **120** | 10·5 | 32 | 11 | 33·5 | 11·5 | 35 | 12·5 | 38 | 13 | 39·5 | 15 | 46 | 1·91 | 0·26 |
| **125** | 10 5 | 34·5 | 11 | 36 | 11·5 | 38 | 12 5 | 41 | 13 | 43 | 15·5 | 51 | 1·98 | 0·27 |
| **130** | 10 5 | 36 | 11 | 38 | 11·5 | 39·5 | 12·5 | 43 | 14 | 48 | 15·5 | 53 | 2 04 | 0·28 |
| **135** | 10·5 | 37 | 11 | 39 | 11·5 | 40·5 | 13 | 46 | 14 | 49·5 | 16 | 56·5 | 2·10 | 0·29 |
| **140** | 10 5 | 38 5 | 11·5 | 42 | 12 | 44 | 13 | 48 | 14·5 | 53 | 16 | 59 | 2·25 | 0·30 |
| **150** | 10·5 | 40 | 11·5 | 44 | 12 | 46 | 13 5 | 51·5 | 14·5 | 55 | 16·5 | 63 | 2·30 | 0·31 |
| **160** | 11 | 44 | 11·5 | 46 | 12·5 | 50 | 14 | 56 | 15 | 60 | 17 | 68 | 2 45 | 0 33 |
| **170** | 11 | 47·5 | 11·5 | 50 | 12 5 | 54 | 14 5 | 62·5 | 15·5 | 67 | 17·5 | 75·5 | 2 62 | 0 34 |
| **175** | 11 | 49 | 11·7 | 52 | 13 | 58 | 14·5 | 64·5 | 15·5 | 69 | 17 5 | 78 | 2·65 | 0 34 |
| **180** | 11 | 53 | 12 | 58 | 13 5 | 65 | 15 | 72·5 | 16 | 77 | 18 | 87 | 2 70 | 0 35 |
| **190** | 11 | 55·5 | 12 | 60 5 | 13·5 | 68 | 15·5 | 78 | 16·5 | 83 | 18·5 | 93 | 3 00 | 0 37 |
| **200** | 11·25 | 58 | 12 5 | 64 5 | 14 | 72 5 | 15 5 | 80 | 17 | 88 | 19 | 98 | 3 34 | 0 38 |
| **220** | 11·5 | 69 | 12 5 | 75 | 14 5 | 87 | 16·5 | 99 | 18 | 108 | 20 | 120 | 3·65 | 0 41 |
| **225** | 11·5 | 71 | 12·5 | 77 | 14·5 | 89·5 | 16·5 | 102 | 18 | 111 | 20 | 124 | 3·75 | 0 42 |
| **250** | 12 | 79 | 13·5 | 89 | 15·5 | 102 | 17 5 | 115 | 19·5 | 128 | 22 | 145 | 4·08 | 0·43 |
| **270** | 12 5 | 86 | 14 | 96·5 | 16 | 110 | 18 | 124 | 20·5 | 141 | 23 5 | 162 | 5 24 | 0·45 |
| **300** | 13 5 | 101 | 14 5 | 109 | 16 5 | 124 | 18 5 | 149 | 21 | 157 | 25 | 187 | 6·39 | 0 66 |
| **350** | 14·5 | 124 | 16·5 | 141 | 18 5 | 158 | 21 | 180 | 24 | 205 | 29 | 248 | 8·37 | 0·69 |
| **400** | 15 | 147 | 17 | 167 | 19·5 | 191 | 23 | 225 | 26 | 255 | 33 | 323 | 9·46 | 0·78 |
| **450** | 15·5 | 180 | 18 | 209 | 21 | 244 | 25 | 290 | 29 | 337 | 37 | 429 | 10·56 | 0 83 |
| **500** | 16 | 200 | 19 | 237 | 22·5 | 281 | 27 | 338 | 31 5 | 394 | 41 | 512 | 11·63 | 0·85 |
| **550** | 17 | 232 | 20 | 273 | 23·5 | 321 | 29 | 396 | 34 | 464 | 45 | 614 | 13 | 0·90 |
| **600** | 18 | 266 | 21 | 310 | 25 | 370 | 31 | 458 | 37 | 547 | 49 | 724 | 15 | 0 95 |
| **650** | 18·5 | 296 | 21·5 | 344 | 27·5 | 440 | 34 | 544 | 40 | 640 | 53 | 847 | 16·20 | 1·15 |
| **700** | 19 | 330 | 22·5 | 390 | 29 | 504 | 36 | 624 | 43 | 746 | 57 | 990 | 17 33 | 1·25 |
| **800** | 20 | 410 | 25 | 512 | 33 | 676 | 41 | 840 | 48 | 984 | 65 | 1330 | 19 67 | 1·45 |
| **1000** | 22 | 536 | 31 | 755 | 40 | 975 | 50 | 1220 | 60 | 1460 | 80 | 1950 | 24·34 | 1·80 |
| **1250** | 26 | 820 | 38 | 1200 | 50 | 1580 | 63 | 1990 | 75 | 2365 | 100 | 3160 | 32 55 | 3·10 |

# TABLA IX.—Kaños de láminas de azero en espiral.

(De la Rather Metallwerk, Rath, Düsseldorf).

| Diámetro | Largo | Espesor | Presion de trabajo | Presion de prueba | Peso por 1 metro, sin uniones | Peso de 2 anillos de union |
|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | m | mm | atm. | atm. | kg. | kg. |
| 157 | 10 | 2 | 18 | 27 | 8·2 | 9 |
| ,, | ,, | 2·5 | 24 | 36 | 10 | — |
| ,, | ,, | 3 | 29 | 43 | 12·5 | — |
| 208 | 10 | 2 | 15 | 22 | 11 | 12 |
| ,, | ,, | 2·5 | 18 | 27 | 13·8 | — |
| ,, | ,, | 3 | 22 | 33 | 16·5 | — |
| 259 | 10 | 2 | 12 | 18 | 13·9 | 18 |
| ,, | ,, | 2·5 | 15 | 22 | 17 | — |
| ,, | ,, | 3 | 17 | 25 | 20·3 | — |
| ,, | ,, | 3·5 | 20 | 30 | 24 | — |
| 311 | 10 | 2 | 10 | 15 | 17 | 21 |
| ,, | ,, | 2·5 | 12 | 18 | 20·6 | — |
| ,, | ,, | 3 | 15 | 22 | 24·7 | — |
| ,, | ,, | 3·5 | 18 | 27 | 29 | — |
| 362 | 10 | 2·5 | 11 | 17 | 24 | 28 |
| ,, | ,, | 3 | 13 | 20 | 29 | — |
| ,, | ,, | 3·5 | 15 | 23 | 33·5 | — |
| ,, | ,, | 4 | 17 | 25 | 38·5 | — |
| 416 | 7.5 | 2·5 | 9 | 14 | 27·7 | 32 |
| ,, | ,, | 3 | 11 | 16 | 33·5 | — |
| ,, | ,, | 3·5 | 13 | 18 | 38·8 | — |
| ,, | ,, | 4 | 15 | 20 | 44·3 | — |

## TABLA IX.—Kaños de láminas de azero en espiral.—[*Fin*].

(De la Rather Metallwerk, Rath, Düsseldorf).

| Diámetro | Largo | Espesor | Presion de trabajo | Presion de orueba | Peso por 1 metro, sin uniones | Peso de 2 anillios de union |
|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | m | mm | atm. | atm. | kg. | kg. |
| 467 | 7·5 | 2·5 | 8 | 12 | 31·2 | 35 |
| „ | „ | 3 | 10 | 15 | 37·5 | — |
| „ | „ | 3·5 | 11 | 17 | 43·5 | — |
| „ | „ | 4 | 13 | 19 | 49·8 | — |
| „ | „ | 5 | 16 | 24 | 52 | — |
| 517 | 7·5 | 2·5 | 7 | 12 | 34·5 | 42 |
| „ | „ | 3 | 8·5 | 13·5 | 41·3 | — |
| „ | „ | 3·5 | 10 | 15 | 48.2 | — |
| „ | „ | 4 | 12 | 18 | 55 | — |
| „ | „ | 5 | 15 | 23 | 68·8 | — |
| 571 | 5 | 3 | 8 | 12 | 45·8 | 48 |
| „ | „ | 3·5 | 9·5 | 14·5 | 53·3 | |
| „ | „ | 4 | 11 | 17 | 60·9 | — |
| „ | „ | 5 | 13 | 20 | 76 | — |
| „ | „ | 6 | 15 | 22 | 91 | — |
| 622 | 5 | 3 | 7 | 11 | 49·8 | 52 |
| „ | „ | 3·5 | 8·5 | 13 | 58 | — |
| „ | „ | 4 | 10 | 15 | 66·5 | — |
| „ | „ | 5 | 12.5 | 18·5 | 83 | — |
| „ | „ | 6 | 15 | 22 | 100 | — |

## TABLA X.—Tubos de azero Mannesmann, sin soldaduras, kon doble rreborde.

| Diámetro interno | Espesor de las paredes | Presion de prueba | Peso por 1 m. inkluyendo proporzion de junturas | Diámetro interno | Espesor de las paredes | Presion de prueba | Peso por 1 m inkluyendo proporzion de junturas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm. | mm. | atm. | kg. | mm. | mm. | atm. | kgs. |
| 50 | 3 | 375 | 5 | 125 | 5 | 250 | 23 |
| ” | ” | 250 | 4·5 | ” | ” | 200 | 21 |
| ” | ” | 150 | 4·5 | ” | ” | 150 | 20 |
| ” | ” | 100 | 4·5 | ” | ” | 100 | 19 |
| ” | ” | 50 | 4·5 | ” | ” | 50 | 18 |
| 60 | 3 | 315 | 6 | 130 | 5 | 250 | 23 |
| ” | ” | 200 | 6 | ” | ” | 200 | 22 |
| ” | ” | 150 | 5·5 | ” | ” | 150 | 20·5 |
| ” | ” | 100 | 5·5 | ” | ” | 100 | 19·5 |
| ” | ” | 50 | 5 | ” | ” | 50 | 18·5 |
| 70 | 3·5 | 315 | 8·5 | 150 | 5.5 | 240 | 31 |
| ” | ” | 200 | 7·5 | ” | ” | 200 | 30 |
| ” | ” | 150 | 7·5 | ” | ” | 150 | 27 |
| ” | ” | 100 | 7 | ” | ” | 100 | 25·5 |
| ” | ” | 50 | 7 | ” | ” | 50 | 24 |
| 80 | 4 | 310 | 11 | 175 | 6 | 225 | 40 |
| ” | ” | 200 | 10 | ” | ” | 150 | 37 |
| ” | ” | 150 | 9·5 | ” | ” | 100 | 33·5 |
| ” | ” | 100 | 9·5 | ” | ” | 50 | 30·7 |
| ” | ” | 50 | 9 | — | — | — | — |
| 90 | 4 | 285 | 12 | 191 | 6.5 | 225 | 50 |
| ” | ” | 200 | 11·5 | ” | ” | 150 | 45·5 |
| ” | ” | 150 | 11 | ” | ” | 100 | 41·5 |
| ” | ” | 100 | 10·5 | ” | ” | 50 | 37·5 |
| ” | ” | 50 | 10 | — | — | — | — |
| 100 | 4·5 | 285 | 15·5 | 216 | 8 | 275 | 73·5 |
| ” | ” | 200 | 15 | ” | ” | 200 | 66·5 |
| ” | ” | 150 | 14 | ” | ” | 150 | 60 |
| ” | ” | 100 | 13·5 | ” | ” | 100 | 56·5 |
| ” | ” | 50 | 12·5 | ” | ” | 50 | 50·5 |

## LOGARITMOS.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0000 | 0043 | 0086 | 0128 | 0170 | 0212 | 0253 | 0294 | 0334 | 0374 | 4 8 12 | 17 21 25 | 29 33 37 |
| 11 | 0414 | 0453 | 0492 | 0531 | 0569 | 0607 | 0645 | 0682 | 0719 | 0755 | 4 8 11 | 15 19 23 | 26 30 34 |
| 12 | 0792 | 0828 | 0864 | 0899 | 0934 | 0969 | 1004 | 1038 | 1072 | 1106 | 3 7 10 | 14 17 21 | 24 28 31 |
| 13 | 1139 | 1173 | 1206 | 1239 | 1271 | 1303 | 1335 | 1367 | 1399 | 1430 | 3 6 10 | 13 16 19 | 23 26 29 |
| 14 | 1461 | 1492 | 1523 | 1553 | 1584 | 1614 | 1644 | 1673 | 1703 | 1732 | 3 6 9 | 12 15 18 | 21 24 27 |
| 15 | 1761 | 1790 | 1818 | 1847 | 1875 | 1903 | 1931 | 1959 | 1987 | 2014 | 3 6 8 | 11 14 17 | 20 22 25 |
| 16 | 2041 | 2068 | 2095 | 2122 | 2148 | 2175 | 2201 | 2227 | 2253 | 2279 | 3 5 8 | 11 13 16 | 18 21 24 |
| 17 | 2304 | 2330 | 2355 | 2380 | 2405 | 2430 | 2455 | 2480 | 2504 | 2529 | 2 5 7 | 10 12 15 | 17 20 22 |
| 18 | 2553 | 2577 | 2601 | 2625 | 2648 | 2672 | 2695 | 2718 | 2742 | 2765 | 2 5 7 | 9 12 14 | 16 19 21 |
| 19 | 2788 | 2810 | 2833 | 2856 | 2878 | 2900 | 2923 | 2945 | 2967 | 2989 | 2 4 7 | 9 11 13 | 16 18 20 |
| 20 | 3010 | 3032 | 3054 | 3075 | 3096 | 3118 | 3139 | 3160 | 3181 | 3201 | 2 4 6 | 8 11 13 | 15 17 19 |
| 21 | 3222 | 3243 | 3263 | 3284 | 3304 | 3324 | 3345 | 3365 | 3385 | 3404 | 2 4 6 | 8 10 12 | 14 16 18 |
| 22 | 3424 | 3444 | 3464 | 3483 | 3502 | 3522 | 3541 | 3560 | 3579 | 3598 | 2 4 6 | 8 10 12 | 14 15 17 |
| 23 | 3617 | 3636 | 3655 | 3674 | 3692 | 3711 | 3729 | 3747 | 3766 | 3784 | 2 4 6 | 7 9 11 | 13 15 17 |
| 24 | 3802 | 3820 | 3838 | 3856 | 3874 | 3892 | 3909 | 3927 | 3945 | 3962 | 2 4 5 | 7 9 11 | 12 14 16 |
| 25 | 3979 | 3997 | 4014 | 4031 | 4048 | 4065 | 4082 | 4099 | 4116 | 4133 | 2 3 5 | 7 9 10 | 12 14 15 |
| 26 | 4150 | 4166 | 4183 | 4200 | 4216 | 4232 | 4249 | 4265 | 4281 | 4298 | 2 3 5 | 7 8 10 | 11 13 15 |
| 27 | 4314 | 4330 | 4346 | 4362 | 4378 | 4393 | 4409 | 4425 | 4440 | 4456 | 2 3 5 | 6 8 9 | 11 13 14 |
| 28 | 4472 | 4487 | 4502 | 4518 | 4533 | 4548 | 4564 | 4579 | 4594 | 4609 | 2 3 5 | 6 8 9 | 11 12 14 |
| 29 | 4624 | 4639 | 4654 | 4669 | 4683 | 4698 | 4713 | 4728 | 4742 | 4757 | 1 3 4 | 6 7 9 | 10 12 13 |
| 30 | 4771 | 4786 | 4800 | 4814 | 4829 | 4843 | 4857 | 4871 | 4886 | 4900 | 1 3 4 | 6 7 9 | 10 11 13 |
| 31 | 4914 | 4928 | 4942 | 4955 | 4969 | 4983 | 4997 | 5011 | 5024 | 5038 | 1 3 4 | 6 7 8 | 10 11 12 |
| 32 | 5051 | 5065 | 5079 | 5092 | 5105 | 5119 | 5132 | 5145 | 5159 | 5172 | 1 3 4 | 5 7 8 | 9 11 12 |
| 33 | 5185 | 5198 | 5211 | 5224 | 5237 | 5250 | 5263 | 5276 | 5289 | 5302 | 1 3 4 | 5 6 8 | 9 10 12 |
| 34 | 5315 | 5328 | 5340 | 5353 | 5366 | 5378 | 5391 | 5403 | 5416 | 5428 | 1 3 4 | 5 6 8 | 9 10 11 |
| 35 | 5441 | 5453 | 5465 | 5478 | 5490 | 5502 | 5514 | 5527 | 5539 | 5551 | 1 2 4 | 5 6 7 | 9 10 11 |
| 36 | 5563 | 5575 | 5587 | 5599 | 5611 | 5623 | 5635 | 5647 | 5658 | 5670 | 1 2 4 | 5 6 7 | 8 10 11 |
| 37 | 5682 | 5694 | 5705 | 5717 | 5729 | 5740 | 5752 | 5763 | 5775 | 5786 | 1 2 3 | 5 6 7 | 8 9 10 |
| 38 | 5798 | 5809 | 5821 | 5832 | 5843 | 5855 | 5866 | 5877 | 5888 | 5899 | 1 2 3 | 5 6 7 | 8 9 10 |
| 39 | 5911 | 5922 | 5933 | 5944 | 5955 | 5966 | 5977 | 5988 | 5999 | 6010 | 1 2 3 | 4 5 7 | 8 9 10 |
| 40 | 6021 | 6031 | 6042 | 6053 | 6064 | 6075 | 6085 | 6096 | 6107 | 6117 | 1 2 3 | 4 5 6 | 8 9 10 |
| 41 | 6128 | 6138 | 6149 | 6160 | 6170 | 6180 | 6191 | 6201 | 6212 | 6222 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| 42 | 6232 | 6243 | 6253 | 6263 | 6274 | 6284 | 6294 | 6304 | 6314 | 6325 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| 43 | 6335 | 6345 | 6355 | 6365 | 6375 | 6385 | 6395 | 6405 | 6415 | 6425 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| 44 | 6435 | 6444 | 6454 | 6464 | 6474 | 6484 | 6493 | 6503 | 6513 | 6522 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| 45 | 6532 | 6542 | 6551 | 6561 | 6571 | 6580 | 6590 | 6599 | 6609 | 6618 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| 46 | 6628 | 6637 | 6646 | 6656 | 6665 | 6675 | 6684 | 6693 | 6702 | 6712 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 7 8 |
| 47 | 6721 | 6730 | 6739 | 6749 | 6758 | 6767 | 6776 | 6785 | 6794 | 6803 | 1 2 3 | 4 5 5 | 6 7 8 |
| 48 | 6812 | 6821 | 6830 | 6839 | 6848 | 6857 | 6866 | 6875 | 6884 | 6893 | 1 2 3 | 4 4 5 | 6 7 8 |
| 49 | 6902 | 6911 | 6920 | 6928 | 6937 | 6946 | 6955 | 6964 | 6972 | 6981 | 1 2 3 | 4 4 5 | 6 7 8 |
| 50 | 6990 | 6998 | 7007 | 7016 | 7024 | 7033 | 7042 | 7050 | 7059 | 7067 | 1 2 3 | 3 4 5 | 6 7 8 |
| 51 | 7076 | 7084 | 7093 | 7101 | 7110 | 7118 | 7126 | 7135 | 7143 | 7152 | 1 2 3 | 3 4 5 | 6 7 8 |
| 52 | 7160 | 7168 | 7177 | 7185 | 7193 | 7202 | 7210 | 7218 | 7226 | 7235 | 1 2 2 | 3 4 5 | 6 7 7 |
| 53 | 7243 | 7251 | 7259 | 7267 | 7275 | 7284 | 7292 | 7300 | 7308 | 7316 | 1 2 2 | 3 4 5 | 6 6 7 |
| 54 | 7324 | 7332 | 7340 | 7348 | 7356 | 7364 | 7372 | 7380 | 7388 | 7396 | 1 2 2 | 3 4 5 | 6 6 7 |

## LOGARITMOS.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 55 | 7404 | 7412 | 7419 | 7427 | 7435 | 7443 | 7451 | 7459 | 7466 | 7474 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 56 | 7482 | 7490 | 7497 | 7505 | 7513 | 7520 | 7528 | 7536 | 7543 | 7551 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 57 | 7559 | 7566 | 7574 | 7582 | 7589 | 7597 | 7604 | 7312 | 7619 | 7627 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 58 | 7634 | 7642 | 7649 | 7657 | 7664 | 7672 | 7679 | 7686 | 7694 | 7701 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 59 | 7709 | 7716 | 7723 | 7731 | 7738 | 7745 | 7752 | 7760 | 7767 | 7774 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 60 | 7782 | 7789 | 7796 | 7803 | 7810 | 7818 | 7825 | 7832 | 7839 | 7846 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 61 | 7853 | 7860 | 7868 | 7875 | 7882 | 7889 | 7896 | 7903 | 7910 | 7917 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 62 | 7924 | 7931 | 7938 | 7945 | 7952 | 7959 | 7966 | 7973 | 7980 | 7987 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| 63 | 7993 | 8000 | 8007 | 8014 | 8021 | 8028 | 8035 | 8041 | 8048 | 8055 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 64 | 8062 | 8069 | 8075 | 8082 | 8089 | 8096 | 8102 | 8109 | 8116 | 8122 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 65 | 8129 | 8136 | 8142 | 8149 | 8156 | 8162 | 8169 | 8176 | 8182 | 8189 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 66 | 8195 | 8202 | 8209 | 8215 | 8222 | 8228 | 8235 | 8241 | 8248 | 8254 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 67 | 8261 | 8267 | 8274 | 8280 | 8287 | 8293 | 8299 | 8306 | 8312 | 8319 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 68 | 8325 | 8331 | 8338 | 8344 | 8351 | 8357 | 8363 | 8370 | 8376 | 8382 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 69 | 8388 | 8395 | 8401 | 8407 | 8414 | 8420 | 8426 | 8432 | 8439 | 8445 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 70 | 8451 | 8457 | 8463 | 8470 | 8476 | 8482 | 8488 | 8494 | 8500 | 8506 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 71 | 8513 | 8519 | 8525 | 8531 | 8537 | 8543 | 8549 | 8555 | 8561 | 8567 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 72 | 8573 | 8579 | 8585 | 8591 | 8597 | 8603 | 8309 | 8615 | 8321 | 8627 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 73 | 8633 | 8639 | 8645 | 8651 | 8657 | 8663 | 8669 | 8375 | 8381 | 8386 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 74 | 8692 | 8698 | 8704 | 8710 | 8716 | 8722 | 8727 | 8733 | 8739 | 8745 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 75 | 8751 | 8756 | 8762 | 8768 | 8774 | 8779 | 8785 | 8791 | 8797 | 8802 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 76 | 8808 | 8814 | 8820 | 8825 | 8831 | 8837 | 8842 | 8848 | 8854 | 8859 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 77 | 8865 | 8871 | 8876 | 8882 | 8887 | 8893 | 8899 | 8904 | 8910 | 8915 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 78 | 8921 | 8927 | 8932 | 8938 | 8943 | 8949 | 8954 | 8960 | 8965 | 8971 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 79 | 8976 | 8982 | 8987 | 8993 | 8998 | 9004 | 9009 | 9015 | 9020 | 9025 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 80 | 9031 | 9036 | 9042 | 9047 | 9053 | 9058 | 9063 | 9069 | 9074 | 9079 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 81 | 9085 | 9090 | 9096 | 9101 | 9106 | 9112 | 9117 | 9122 | 9128 | 9133 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 82 | 9138 | 9143 | 9149 | 9154 | 9159 | 9165 | 9170 | 9175 | 9180 | 9186 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 83 | 9191 | 9196 | 9201 | 9206 | 9212 | 9217 | 9222 | 9227 | 9232 | 9238 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 84 | 9243 | 9248 | 9253 | 9258 | 9263 | 9269 | 9274 | 9279 | 9284 | 9289 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 85 | 9294 | 9299 | 9304 | 9309 | 9315 | 9320 | 9325 | 9330 | 9335 | 9340 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 86 | 9345 | 9350 | 9355 | 9360 | 9365 | 9370 | 9375 | 9380 | 9385 | 9390 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 87 | 9395 | 9400 | 9405 | 9410 | 9415 | 9420 | 9425 | 9430 | 9435 | 9440 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 88 | 9445 | 9450 | 9455 | 9460 | 9465 | 9469 | 9474 | 9479 | 9484 | 9489 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 89 | 9494 | 9499 | 9504 | 9509 | 9513 | 9518 | 9523 | 9528 | 9533 | 9538 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 90 | 9542 | 9547 | 9552 | 9557 | 9562 | 9566 | 9571 | 9576 | 9581 | 9586 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 91 | 9590 | 9595 | 9600 | 9605 | 9609 | 9314 | 9619 | 9624 | 9628 | 9633 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 92 | 9638 | 9643 | 9647 | 9652 | 9657 | 9661 | 9666 | 9671 | 9675 | 9680 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 93 | 9685 | 9689 | 9694 | 9699 | 9703 | 9708 | 9713 | 9717 | 9722 | 9727 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 94 | 9731 | 9736 | 9741 | 9745 | 9750 | 9754 | 9759 | 9763 | 7968 | 9773 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 95 | 9777 | 9782 | 9786 | 9791 | 9795 | 9800 | 9805 | 9809 | 9814 | 9818 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 96 | 9823 | 9827 | 9832 | 9836 | 9841 | 9845 | 9850 | 9854 | 9859 | 9863 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 97 | 9868 | 9872 | 9877 | 9881 | 9886 | 9890 | 9894 | 9899 | 9903 | 9908 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 98 | 9912 | 9917 | 9921 | 9926 | 9930 | 9934 | 9939 | 9943 | 9948 | 9952 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 99 | 9956 | 9961 | 9965 | 9969 | 9974 | 9978 | 9983 | 9987 | 9991 | 9996 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |

## ANTILOGARITMOS.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ·00 | 1000 | 1002 | 1005 | 1007 | 1009 | 1012 | 1014 | 1016 | 1019 | 1021 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| ·01 | 1023 | 1026 | 1028 | 1030 | 1033 | 1035 | 1038 | 1040 | 1042 | 1045 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| ·02 | 1047 | 1050 | 1052 | 1054 | 1057 | 1059 | 1062 | 1064 | 1067 | 1069 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| ·03 | 1072 | 1074 | 1076 | 1079 | 1081 | 1084 | 1086 | 1089 | 1091 | 1094 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| ·04 | 1096 | 1099 | 1102 | 1104 | 1107 | 1109 | 1112 | 1114 | 1117 | 1119 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ·05 | 1122 | 1125 | 1127 | 1130 | 1132 | 1135 | 1138 | 1140 | 1143 | 1146 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ·06 | 1148 | 1151 | 1153 | 1156 | 1159 | 1161 | 1164 | 1167 | 1169 | 1172 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ·07 | 1175 | 1178 | 1180 | 1183 | 1186 | 1189 | 1191 | 1194 | 1197 | 1199 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ·08 | 1202 | 1205 | 1208 | 1211 | 1213 | 1216 | 1219 | 1222 | 1225 | 1227 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| ·09 | 1230 | 1233 | 1236 | 1239 | 1242 | 1245 | 1247 | 1250 | 1253 | 1256 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| ·10 | 1259 | 1262 | 1265 | 1268 | 1271 | 1274 | 1276 | 1279 | 1282 | 1285 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| ·11 | 1288 | 1291 | 1294 | 1297 | 1300 | 1303 | 1306 | 1309 | 1312 | 1315 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| ·12 | 1318 | 1321 | 1324 | 1327 | 1330 | 1334 | 1337 | 1340 | 1343 | 1346 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| ·13 | 1349 | 1352 | 1355 | 1358 | 1361 | 1365 | 1368 | 1371 | 1374 | 1377 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ·14 | 1380 | 1384 | 1387 | 1390 | 1393 | 1396 | 1400 | 1403 | 1406 | 1409 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ·15 | 1413 | 1416 | 1419 | 1422 | 1426 | 1429 | 1432 | 1435 | 1439 | 1442 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ·16 | 1445 | 1449 | 1452 | 1455 | 1459 | 1462 | 1466 | 1469 | 1472 | 1476 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ·17 | 1479 | 1483 | 1486 | 1489 | 1493 | 1496 | 1500 | 1503 | 1507 | 1510 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ·18 | 1514 | 1517 | 1521 | 1524 | 1528 | 1531 | 1535 | 1538 | 1542 | 1545 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ·19 | 1549 | 1552 | 1556 | 1560 | 1563 | 1567 | 1570 | 1574 | 1578 | 1581 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| ·20 | 1585 | 1589 | 1592 | 1596 | 1600 | 1603 | 1607 | 1611 | 1614 | 1618 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| ·21 | 1622 | 1626 | 1629 | 1633 | 1637 | 1641 | 1644 | 1648 | 1652 | 1656 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| ·22 | 1660 | 1663 | 1667 | 1671 | 1675 | 1679 | 1683 | 1687 | 1690 | 1694 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| ·23 | 1698 | 1702 | 1706 | 1710 | 1714 | 1718 | 1722 | 1726 | 1730 | 1734 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| ·24 | 1738 | 1742 | 1746 | 1750 | 1754 | 1758 | 1762 | 1766 | 1770 | 1774 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| ·25 | 1778 | 1782 | 1786 | 1791 | 1795 | 1799 | 1803 | 1807 | 1811 | 1816 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| ·26 | 1820 | 1824 | 1828 | 1832 | 1837 | 1841 | 1845 | 1849 | 1854 | 1858 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| ·27 | 1862 | 1866 | 1871 | 1875 | 1879 | 1884 | 1888 | 1892 | 1897 | 1901 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| ·28 | 1905 | 1910 | 1914 | 1919 | 1923 | 1928 | 1932 | 1936 | 1941 | 1945 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ·29 | 1950 | 1954 | 1959 | 1963 | 1968 | 1972 | 1977 | 1982 | 1986 | 1991 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ·30 | 1995 | 2000 | 2004 | 2009 | 2014 | 2018 | 2023 | 2028 | 2032 | 2037 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ·31 | 2042 | 2046 | 2051 | 2056 | 2061 | 2065 | 2070 | 2075 | 2080 | 2084 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ·32 | 2089 | 2094 | 2099 | 2104 | 2109 | 2113 | 2118 | 2123 | 2128 | 2133 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ·33 | 2138 | 2143 | 2148 | 2153 | 2158 | 2163 | 2168 | 2173 | 2178 | 2183 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ·34 | 2188 | 2193 | 2198 | 2203 | 2208 | 2213 | 2218 | 2223 | 2228 | 2234 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| ·35 | 2239 | 2244 | 2249 | 2254 | 2259 | 2265 | 2270 | 2275 | 2280 | 2286 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| ·36 | 2291 | 2296 | 2301 | 2307 | 2312 | 2317 | 2323 | 2328 | 2333 | 2339 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| ·37 | 2344 | 2350 | 2355 | 2360 | 2366 | 2371 | 2377 | 2382 | 2388 | 2393 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| ·38 | 2399 | 2404 | 2410 | 2415 | 2421 | 2427 | 2432 | 2438 | 2443 | 2449 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| ·39 | 2455 | 2460 | 2466 | 2472 | 2477 | 2483 | 2489 | 2495 | 2500 | 2506 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| ·40 | 2512 | 2518 | 2523 | 2529 | 2535 | 2541 | 2547 | 2553 | 2559 | 2564 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| ·41 | 2570 | 2576 | 2582 | 2588 | 2594 | 2600 | 2606 | 2312 | 2618 | 2624 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| ·42 | 2630 | 2636 | 2642 | 2649 | 2655 | 2661 | 2667 | 2673 | 2679 | 2685 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| ·43 | 2692 | 2698 | 2704 | 2710 | 2716 | 2723 | 2729 | 2735 | 2742 | 2748 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| ·44 | 2754 | 2761 | 2767 | 2773 | 2780 | 2786 | 2793 | 2799 | 2805 | 2812 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| ·45 | 2818 | 2825 | 2831 | 2838 | 2844 | 2851 | 2858 | 2864 | 2871 | 2877 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| ·46 | 2884 | 2891 | 2897 | 2904 | 2911 | 2917 | 2924 | 2931 | 2938 | 2944 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| ·47 | 2951 | 2958 | 2965 | 2972 | 2979 | 2985 | 2992 | 2999 | 3006 | 3013 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| ·48 | 3020 | 3027 | 3034 | 3041 | 3048 | 3055 | 3062 | 3069 | 3076 | 3083 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| ·49 | 3090 | 3097 | 3105 | 3112 | 3119 | 3126 | 3133 | 3141 | 3148 | 3155 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |

## ANTILOGARITMOS.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ·50 | 3162 | 3170 | 3177 | 3184 | 3192 | 3199 | 3206 | 3214 | 3221 | 3228 | 1 1 2 | 3 4 4 | 5 6 7 |
| ·51 | 3236 | 3243 | 3251 | 3258 | 3266 | 3273 | 3281 | 3289 | 3296 | 3304 | 1 2 2 | 3 4 5 | 5 6 7 |
| ·52 | 3311 | 3319 | 3327 | 3334 | 3342 | 3350 | 3357 | 3365 | 3373 | 3381 | 1 2 2 | 3 4 5 | 5 6 7 |
| ·53 | 3388 | 3396 | 3404 | 3412 | 3420 | 3428 | 3436 | 3443 | 3451 | 3459 | 1 2 2 | 3 4 5 | 6 6 7 |
| ·54 | 3467 | 3475 | 3483 | 3491 | 3499 | 3508 | 3516 | 3524 | 3532 | 3540 | 1 2 2 | 3 4 5 | 6 6 7 |
| ·55 | 3548 | 3556 | 3565 | 3573 | 3581 | 3589 | 3597 | 3606 | 3614 | 3622 | 1 2 2 | 3 4 5 | 6 7 7 |
| ·56 | 3631 | 3639 | 3648 | 3656 | 3664 | 3673 | 3681 | 3690 | 3698 | 3707 | 1 2 3 | 3 4 5 | 6 7 8 |
| ·57 | 3715 | 3724 | 3733 | 3741 | 3750 | 3758 | 3767 | 3776 | 3784 | 3793 | 1 2 3 | 3 4 5 | 6 7 8 |
| ·58 | 3802 | 3811 | 3819 | 3828 | 3837 | 3846 | 3855 | 3864 | 3873 | 3882 | 1 2 3 | 4 4 5 | 6 7 8 |
| ·59 | 3890 | 3899 | 3908 | 3917 | 3926 | 3936 | 3945 | 3954 | 3963 | 3972 | 1 2 3 | 4 5 5 | 6 7 8 |
| ·60 | 3981 | 3990 | 3999 | 4009 | 4018 | 4027 | 4033 | 4043 | 4055 | 4064 | 1 2 3 | 4 5 6 | 6 7 8 |
| ·61 | 4074 | 4083 | 4093 | 4102 | 4111 | 4121 | 4130 | 4140 | 4150 | 4159 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| ·62 | 4169 | 4178 | 4188 | 4198 | 4207 | 4217 | 4227 | 4236 | 4246 | 4256 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| ·63 | 4266 | 4276 | 4285 | 4295 | 4305 | 4315 | 4325 | 4335 | 4345 | 4355 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| ·64 | 4365 | 4375 | 4385 | 4395 | 4406 | 4416 | 4423 | 4436 | 4443 | 4457 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| ·65 | 4467 | 4477 | 4487 | 4498 | 4508 | 4519 | 4529 | 4539 | 4550 | 4560 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 |
| 66 | 4571 | 4581 | 4592 | 4603 | 4613 | 4624 | 4634 | 4645 | 4356 | 4667 | 1 2 3 | 4 5 6 | 7 9 10 |
| 67 | 4677 | 4688 | 4699 | 4710 | 4721 | 4732 | 4742 | 4753 | 4764 | 4775 | 1 2 3 | 4 5 7 | 8 9 10 |
| ·68 | 4786 | 4797 | 4808 | 4819 | 4831 | 4842 | 4853 | 4864 | 4875 | 4887 | 1 2 3 | 4 6 7 | 8 9 10 |
| ·69 | 4898 | 4909 | 4920 | 4932 | 4943 | 4955 | 4936 | 4977 | 4989 | 5000 | 1 2 3 | 5 6 7 | 8 9 10 |
| ·70 | 5012 | 5023 | 5035 | 5047 | 5058 | 5070 | 5082 | 5093 | 5105 | 5117 | 1 2 4 | 5 6 7 | 8 9 11 |
| ·71 | 5129 | 5140 | 5152 | 5164 | 5176 | 5188 | 5200 | 5212 | 5224 | 5236 | 1 2 4 | 5 6 7 | 8 10 11 |
| ·72 | 5248 | 5260 | 5272 | 5284 | 5297 | 5309 | 5321 | 5333 | 5346 | 5358 | 1 2 4 | 5 6 7 | 9 10 11 |
| ·73 | 5370 | 5383 | 5395 | 5408 | 5420 | 5433 | 5445 | 5458 | 5470 | 5483 | 1 3 4 | 5 6 8 | 9 10 11 |
| ·74 | 5495 | 5508 | 5521 | 5534 | 5546 | 5559 | 5572 | 5585 | 5598 | 5610 | 1 3 4 | 5 6 8 | 9 10 12 |
| ·75 | 5623 | 5636 | 5649 | 5662 | 5675 | 5689 | 5702 | 5715 | 5728 | 5741 | 1 3 4 | 5 7 8 | 9 10 12 |
| ·76 | 5754 | 5768 | 5781 | 5794 | 5808 | 5821 | 5834 | 5848 | 5861 | 5875 | 1 3 4 | 5 7 8 | 9 11 12 |
| ·77 | 5888 | 5902 | 5916 | 5929 | 5943 | 5957 | 5970 | 5984 | 5998 | 6012 | 1 3 4 | 5 7 8 | 10 11 12 |
| ·78 | 6026 | 6039 | 6053 | 6067 | 6081 | 6095 | 6109 | 6124 | 6138 | 6152 | 1 3 4 | 6 7 8 | 10 11 13 |
| 79 | 6166 | 6180 | 6194 | 6209 | 6223 | 6237 | 6252 | 6266 | 6281 | 6295 | 1 3 4 | 6 7 9 | 10 11 13 |
| ·80 | 6310 | 6324 | 6339 | 6353 | 6368 | 6383 | 6397 | 6412 | 6427 | 6442 | 1 3 4 | 6 7 9 | 10 12 13 |
| ·81 | 6457 | 6471 | 6486 | 6501 | 6516 | 6531 | 6546 | 6561 | 6577 | 6592 | 2 3 5 | 6 8 9 | 11 12 14 |
| ·82 | 6607 | 6622 | 6637 | 6653 | 6668 | 6683 | 6699 | 6714 | 6730 | 6745 | 2 3 5 | 6 8 9 | 11 12 14 |
| ·83 | 6761 | 6776 | 6792 | 6808 | 6823 | 6839 | 6855 | 6871 | 6887 | 6902 | 2 3 5 | 6 8 9 | 11 13 14 |
| ·84 | 6918 | 6934 | 6950 | 6966 | 6982 | 6998 | 7015 | 7031 | 7047 | 7063 | 2 3 5 | 6 8 10 | 11 13 15 |
| ·85 | 7079 | 7096 | 7112 | 7129 | 7145 | 7161 | 7178 | 7194 | 7211 | 7228 | 2 3 5 | 7 8 10 | 12 13 15 |
| 86 | 7244 | 7261 | 7278 | 7295 | 7311 | 7328 | 7345 | 7362 | 7379 | 7396 | 2 3 5 | 7 8 10 | 12 13 15 |
| 87 | 7413 | 7430 | 7447 | 7464 | 7482 | 7499 | 7516 | 7534 | 7551 | 7568 | 2 3 5 | 7 9 10 | 12 14 16 |
| ·88 | 7586 | 7603 | 7621 | 7638 | 7656 | 7674 | 7691 | 7709 | 7727 | 7745 | 2 4 5 | 7 9 11 | 12 14 16 |
| ·89 | 7762 | 7780 | 7798 | 7816 | 7834 | 7852 | 7870 | 7889 | 7907 | 7925 | 2 4 5 | 7 9 11 | 13 14 16 |
| ·90 | 7943 | 7962 | 7980 | 7998 | 8017 | 8035 | 8054 | 8072 | 8091 | 8110 | 2 4 6 | 7 9 11 | 13 15 17 |
| ·91 | 8128 | 8147 | 8166 | 8185 | 8204 | 8222 | 8241 | 8260 | 8279 | 8299 | 2 4 6 | 8 9 11 | 13 15 17 |
| ·92 | 8318 | 8337 | 8356 | 8375 | 8395 | 8414 | 8433 | 8453 | 8472 | 8492 | 2 4 6 | 8 10 12 | 14 15 17 |
| ·93 | 8511 | 8531 | 8551 | 8570 | 8590 | 8610 | 8630 | 8650 | 8670 | 8690 | 2 4 6 | 8 10 12 | 14 16 18 |
| ·94 | 8710 | 8730 | 8750 | 8770 | 8790 | 8810 | 8831 | 8851 | 8872 | 8892 | 2 4 6 | 8 10 12 | 14 16 18 |
| ·95 | 8913 | 8933 | 8954 | 8974 | 8995 | 9016 | 9036 | 9057 | 9078 | 9099 | 2 4 6 | 8 10 12 | 15 17 19 |
| ·96 | 9120 | 9141 | 9162 | 9183 | 9204 | 9226 | 9247 | 9268 | 9290 | 9311 | 2 4 6 | 8 11 13 | 15 17 19 |
| ·97 | 9333 | 9354 | 9376 | 9397 | 9419 | 9441 | 9462 | 9484 | 9506 | 9528 | 2 4 7 | 9 11 13 | 15 17 20 |
| ·98 | 9550 | 9572 | 9594 | 9616 | 9638 | 9661 | 9683 | 9705 | 9727 | 9750 | 2 4 7 | 9 11 13 | 16 18 20 |
| ·99 | 9772 | 9795 | 9817 | 9840 | 9863 | 9886 | 9908 | 9931 | 9951 | 9977 | 2 5 7 | 9 11 14 | 16 18 20 |

# ÍNDIZE.



